ଆଧୁନିକ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ

ଅନୁବାଦ :
ପ୍ରଫେସର ଡ଼କ୍ଟର ଶରତ ଚନ୍ଦ୍ର ମିଶ୍ର

ଏଫ୍.କେ. ରିକ୍ ମେୟାର
ଇ.କେ. କେନାର୍ଡ୍

ଓଡ଼ିଶା ରାଜ୍ୟ ପାଠ୍ୟ ପୁସ୍ତକ ପ୍ରଣୟନ ଓ ପ୍ରକାଶନ ସଂସ୍ଥା
ଭୁବନେଶ୍ୱର

ଆଧୁନିକ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ

(ସ୍ନାତକ ଶ୍ରେଣୀ ନିମନ୍ତେ)

ମୂଳ ରଚନା :

ଋକ୍ ମେୟର ଏବଂ କେନାଡ୍

ଅନୁବାଦ :

ପ୍ରଫେସର ଶରତ୍‌ଚନ୍ଦ୍ର ମିଶ୍ର

ପ୍ରଫେସର ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ ବିଭାଗ, ଗଙ୍ଗାଧର ମେହେର କଲେଜ

ସମ୍ବଲପୁର

୧୯୮୩



ପ୍ରକାଶକ :

ଓଡ଼ିଶା ରାଜ୍ୟ ପାଠ୍ୟପୁସ୍ତକ ପ୍ରଣୟନ ଓ ପ୍ରକାଶନ ସଂସ୍ଥା

INTRODUCTION TO MODERN PHYSICS

(For Degree level Students)

Published under the centrally sponsored Scheme of Production of books and literature in Regional Languages at the University level by the Government of India in the Ministry of Education and Social Welfare (Department of Education), New Delhi

Written by : **F. K. Richtmyer**, *Late Prof. of Physics*
Cornell University
E. H. Kennard, *Late Prof. of Physics*
Cornell University
John N. Cooper, *Prof. of Physics*
Naval Post-graduate School

Translated by :
Prof. Dr. **Sarat Chandra Mishra**,
Professor of Physics, G. M. College, Sambalpur.

Revieived by : Dr. **Brajasundar Mohanty**,
Ex. Professer of Physics G. M. College, Sambalpur.

Language Corrected by : Dr. **Sarat chandra Pradhan**
Reader in Oriya, Ravenshaw College, Cuttack

Published by :
THE ORISSA STATE BUREAU OF TEXT BOOK PREPARATION AND PRODUCTION,
Bhubaneswar

First Edition—1983/2,000 Copies

Publication No. 356

Paper used for Printing of this book was made available by the Government of Orissa at concessional rate

Printed at : M/S PARAMARTHI PRINTING WORKS
Oriya Bazar, Baunshgali, Cuttack

Price—Rs, 50-50

ଉପୋଦ୍‌ଘାତ

ଆଧୁନିକ ଭାଷାରେ ବିଶ୍ୱବିଦ୍ୟାଳୟ ସ୍ତରରେ ଶିକ୍ଷାଦାନ ନୀତି ଗୃହୀତ ହେବା ଫଳରେ ଓଡ଼ିଶାର ଛାତ୍ର-ଛାତ୍ରୀମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଓଡ଼ିଆ ଭାଷାରେ ଉଚ୍ଚକୋଟୀର ପୁସ୍ତକ ପ୍ରକାଶନ ଅବଶ୍ୟକ ହେଉଛି । ଏହିପରିରେ ପୁସ୍ତକ ଯେତେ ଅଧିକ ପ୍ରକାଶ ପାଇବ, ଆମ ଭାଷା ପକ୍ଷରେ ତଥା ଛାତ୍ର-ଛାତ୍ରୀମାନଙ୍କ ପକ୍ଷରେ ସେତେ ମଙ୍ଗଳ ହେବ । ପୃଥିବୀର ପ୍ରାୟ ସମସ୍ତ ଦେଶରେ ଛାତ୍ର-ଛାତ୍ରୀମାନେ ମାତୃଭାଷାରେ ଜ୍ଞାନ ଆହରଣ କରି କାର୍ଯ୍ୟକ୍ଷେତ୍ରରେ ତାହାର ବିନିଯୋଗ କରନ୍ତି । ଭାରତରେ ମଧ୍ୟ ଏଦିଗରେ ପ୍ରଚେଷ୍ଟା ଚାଲିଛି । ଓଡ଼ିଶାରେ ଭାରତ ସରକାରଙ୍କ ପକ୍ଷରୁ "ଓଡ଼ିଶା ରାଜ୍ୟ ପାଠ୍ୟପୁସ୍ତକ ପ୍ରଣୟନ ଓ ପ୍ରକାଶନ ସଂସ୍ଥା" ସ୍ଥାପିତ ହୋଇଛି । ଏହି ସଂସ୍ଥା ଓଡ଼ିଆ ଭାଷାରେ ବିଶ୍ୱବିଦ୍ୟାଳୟ ସ୍ତରୀୟ ପାଠ୍ୟପୁସ୍ତକ ପ୍ରଣୟନ ଓ ପ୍ରକାଶନ କରିବାର ଦାୟିତ୍ୱ ବହନ କରିଛି । ସୁଖର କଥା ଓଡ଼ିଶାର ବିଦ୍ୱାନ ଅଧ୍ୟାପକବୃନ୍ଦ ଏ ସଂସ୍ଥାକୁ ସହଯୋଗ ପ୍ରଦାନ କରି ଆସୁଛନ୍ତି । ଅଦ୍ୟାବଧି ଏ ସଂସ୍ଥା ତରଫରୁ ଦୁଇ ଶତାଧିକ ବିଭିନ୍ନ ବିଷୟକ ପୁସ୍ତକ ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇ ସାରିଲାଣି । ପ୍ରସ୍ତୁତ 'ଆଧୁନିକ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ' ପୁସ୍ତକଟି ତା'ର ଏକ ନିଦର୍ଶନ । ଏହି ପୁସ୍ତକଟି ଓଡ଼ିଶାର ୩ଟି ବିଶ୍ୱବିଦ୍ୟାଳୟର ବି. ଏସସି. ଛାତ୍ର-ଛାତ୍ରୀମାନଙ୍କପାଇଁ ଉଦ୍ଦିଷ୍ଟ; ପ୍ରସିଦ୍ଧ ଇଂରାଜୀ ଲେଖକ ଜେ୍ ମେୟର ଓ କେନାର୍ଡ଼ଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଲିଖିତ ମୂଳ ଇଂରାଜୀ ପୁସ୍ତକ 'Introduction to Modern Physics"ର ଓଡ଼ିଆ ଅନୁବାଦ କରିଛନ୍ତି, ଗଙ୍ଗାଧର ମେହେର ମହାବିଦ୍ୟାଳୟର ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ ବିଭାଗର ପ୍ରଫେସର ଡକ୍ଟର ଶରତ୍‌ଚନ୍ଦ୍ର ମିଶ୍ର । ଏହାର ସମୀକ୍ଷା କରିଛନ୍ତି ଗଙ୍ଗାଧର ମେହେର କଲେଜର ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ ପ୍ରଫେସର ସ୍ୱର୍ଗତ ବ୍ରଜସୁନ୍ଦର ମହାନ୍ତି ଓ ଭାଷା ସଂଶୋଧନ କରିଛନ୍ତି ରେଭେନ୍‌ସା ମହାବିଦ୍ୟାଳୟର ଓଡ଼ିଆ ବିଭାଗର ରିଡ଼ର ଡକ୍ଟର ଶରତଚନ୍ଦ୍ର ପ୍ରଧାନ । ଏହି ଅବକାଶରେ ମୁଁ ସଂସ୍ଥା ତରଫରୁ ଏ ପୁସ୍ତକର ଅନୁବାଦକ, ସମୀକ୍ଷକ ଓ ଭାଷା-ବିଶେଷଜ୍ଞଙ୍କୁ ଆନ୍ତରିକ ଧନ୍ୟବାଦ ଜ୍ଞାପନ କରୁଛି ।

ଭୁବନେଶ୍ୱର

୪, ଜାନୁଆରୀ, ୧୯୮୩

ଶ୍ରୀ ସଙ୍କର୍ଷଣ ମହାପାତ୍ର

ନିର୍ଦ୍ଦେଶକ

ସୂଚୀପତ୍ର

ପ୍ରଥମ ଅଧ୍ୟାୟ

ଆଧୁନିକ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନର ପରମ୍ପରା

ଆଧୁନିକ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଧାରଣା କରିବା ପୂର୍ବରୁ ପ୍ରାକୃତିକ ଦର୍ଶନର କ୍ରମ ବିକାଶରେ ଶତାବ୍ଦୀ ଶତାବ୍ଦୀବ୍ୟାପୀ ଘଟିଯାଇଥିବା ପ୍ରଧାନ ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକ ସହ ଆମେ ପରିଚିତ ହେବା ଆବଶ୍ୟକ । ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନର ଉନ୍ନତି ଓ ବର୍ତ୍ତମାନ ଯୁଗରେ ଏହାର ପ୍ରାଧାନ୍ୟ ଠିକ୍ ଭାବରେ ବୁଝିବାପାଇଁ ପଦାର୍ଥବିତ୍‌ମାନେ ଉକ୍ତ ଶାସ୍ତ୍ରର ଇତିହାସ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଯଥେଷ୍ଟ ଜ୍ଞାନ ଲାଭ କରିବା ଦରକାର । ଯେଉଁ ବୈଜ୍ଞାନିକମାନଙ୍କର ଶ୍ରମ ଫଳରେ ଏହି ଶାସ୍ତ୍ରଟିର ବିକାଶ ଘଟିଛି; ଏବଂ ଯେଉଁ ମାର୍ଗରେ ଗତି କରି ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ ମାନବର ଚିନ୍ତାଧାରାକୁ ପ୍ରଭାବିତ ତଥା ଆଧୁନିକ ସଭ୍ୟତାକୁ ପରିପୁଷ୍ଟ କରିଛି, ସେହି ବୈଜ୍ଞାନିକମାନଙ୍କର ଜୀବନୀ ଓ ସେମାନଙ୍କ ପ୍ରବର୍ତ୍ତିତ ମାର୍ଗ ହିଁ ବର୍ତ୍ତମାନ ଆମର ଆଲୋଚନାର ଉପଜୀବ୍ୟ ।

1.1 ପୁରାତନ ଏବଂ ଆଧୁନିକ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ :

ଆକ୍ଷରିକ ଭାବରେ କହିଲେ, ଆଜିକାଲି ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ ନାମରେ ଯେଉଁ ବିଷୟ-ଗୁଡ଼ିକ ବିଚାର କରାଯାଉଅଛି, ସେଗୁଡ଼ିକର ସମାହାରକୁ ଆଧୁନିକ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ ବୁଝାଯିବ । ଏହି ଅର୍ଥରେ ବୁଝିଲେ ୧୮୯୦ ମସିହାରେ ଜଣାଥିବା ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନକୁ ଏବେ ମଧ୍ୟ ଆଧୁନିକ ବୋଲି ବୁଝାଯିବ । ସେ ବର୍ଷ ଖଣ୍ଡିଏ ଉତ୍ତମ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ ପୁସ୍ତକରେ ଯାହା କିଛି ଲେଖାଥିଲା, ସେଥିରୁ ସାମାନ୍ୟ କେତୋଟି କଥା ହୁଏ ତ ଠିକ୍ ନୁହେଁ ବୋଲି ଆଜି ଆମେ ବଦଳାଇ ଦେଇ ପାରିବା ।

ଅନ୍ୟ ପକ୍ଷରେ ୧୮୯୦ ମସିହା ପରେ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ କ୍ଷେତ୍ରରେ ବହୁ ଅଗ୍ରଗତି ସାଧିତ ହୋଇଅଛି । ଏହା ଫଳରେ ସେତେବେଳର କେତେକ ତତ୍ତ୍ୱ ଏବେ ପରୀକ୍ଷା ଦ୍ୱାରା ନିର୍ଭୁଲ ବୋଲି ପ୍ରତିଷ୍ଠିତ ହୋଇଥିଲେ ମଧ୍ୟ ସେଗୁଡ଼ିକର ମୌଳିକ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୋଇଅଛି । ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଭାବରେ କହିଲେ ଊନବିଂଶ ଶତାବ୍ଦୀର ଦାର୍ଶନିକ ପ୍ରତୀତିଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରାକୃତିକ ବିଜ୍ଞାନର ସମର୍ଥିତ ଭାବଧାରାର ଆବଶ୍ୟକତା ଦୃଷ୍ଟିରୁ ଯଥେଷ୍ଟ ନୁହେଁ ବୋଲି ପ୍ରମାଣିତ ହୋଇସାରିଛି । ପୁରାତନ ଭାବଧାରାରୁ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ପୃଥକ୍ ଭାବରେ ନୂତନ ଭାବଧାରାର ଉଦ୍ଭବ ହୋଇଛି ଏବଂ ତାର ଆବଶ୍ୟକତା ମଧ୍ୟ ଅନୁଭୂତ ହେଉଛି । ପୁରାତନ ଚିନ୍ତାଧାରା ଯେଉଁଠାରେ ପରାଜିତ ହେଲା ନୂତନ ଚିନ୍ତାଧାରା ସେଠାରେ ବିଜୟମଣ୍ଡିତ ହେଲା । ପୁନଶ୍ଚ ପୁରାତନ ଚିନ୍ତାଧାରା ଯେଉଁ ବିଷୟଗୁଡ଼ିକ ବୁଝାଇ ପାରୁଥିଲା, ତାହା ମଧ୍ୟ ନୂତନ ଚିନ୍ତାଧାରା ବୁଝାଇବାରେ କ୍ଷମ ହୋଇପାରିଲା । ୧୮୯୦ ମସିହାର ମହାନ୍ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନକୁ "ପୁରାତନ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ" କୁହାଯାଇ ଥାଏ । ବୈଶ୍ଳେଷିକ ଯାନ୍ତ୍ରିକ (analytical mechanics) ତାପଗତି ବିଜ୍ଞାନ (thermodynamics) ଏବଂ ମ୍ୟାକ୍ସୱେଲ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ଗତିବିଜ୍ଞାନ (Maxwellian electrodynamics) ଏହାର ଅନ୍ତର୍ଗତ । ଏହି ପୁରାତନ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନରେ ଯେଉଁ ପ୍ରତୀତି ବା ପ୍ରକଳ୍ପମାନ ନିଆ ଯାଇଅଛି ବା ସେହି ଭାବଧାରାରେ ନିହିତ ଯେଉଁ ବିଷୟବସ୍ତୁଗୁଡ଼ିକ ବୁଝି ହେବ ନାହିଁ, ସେଗୁଡ଼ିକର ବର୍ଣ୍ଣନା "ଆଧୁନିକ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନର" ଅନ୍ତର୍ଗତ ।

ଅବଶ୍ୟ ପୁରାତନ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ ଓ ଆଧୁନିକ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ ମଧ୍ୟରେ ଯେପରି କୌଣସି ସୂକ୍ଷ୍ମ ସୀମାରେଖା ଟାଣି ହେବ ନାହିଁ । ଆଧୁନିକ ବିଜ୍ଞାନ ପୁରାତନ ବିଜ୍ଞାନରୁ ଜନ୍ମ ଲଭିଛି ଓ ତା'ର ଦ୍ୱାରା ପରିପୁଷ୍ଟ ହେଉଛି—ଉଦାହରଣସ୍ୱରୂପ; ମାତ୍ର କେତେଜଣ ପଦାର୍ଥବିତ୍ ୧୮୯୦ ମସିହାରେ ଆଲୋକର ତରଙ୍ଗବାଦ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ସନ୍ଦେହ ପ୍ରକାଶ କରିଥିଲେ । କଣିକା ବାଦ ଉପରେ ଏହାର ବିଜୟ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ହୋଇଛି ବୋଲି ମନେ କରାଯାଉଥିଲା । ବିଶେଷତଃ ୧୮୮୭ ମସିହାରେ ହର୍ଜଙ୍କ ଚମତ୍କାର ପରୀକ୍ଷାଦ୍ୱାରା ମ୍ୟାକ୍ସୱେଲ୍‌ଙ୍କର ବିଦ୍ୟୁତ୍‌ଚୁମ୍ବକ ତତ୍ତ୍ୱର ମୌଳିକ ଚିନ୍ତାଧାରା ସତ୍ୟବୋଲି ପ୍ରମାଣିତ ହୋଇଯିବା ପରେ ଉକ୍ତ ବିଜୟ ସୁପ୍ରତିଷ୍ଠିତ ହୋଇଥିଲା । ତଥାପି, ଭାଗ୍ୟର ପରିହାସ ଯେ, ଏହି ପରୀକ୍ଷାଦ୍ୱାରା ଆଲୋକ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ପ୍ରଭାବ (Photoelectric effect)

ବୋଲି ଗୋଟିଏ ନୂତନ ପ୍ରକ୍ରିୟା ଦୃଷ୍ଟିଗୋଚର ହେଲା । କ୍ୱାଣ୍ଟମବାଦକୁ ପ୍ରତିଷ୍ଠିତ କରିବାରେ ପ୍ରଧାନତଃ ଦାୟୀ ହେଲା । ଆଧୁନିକ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ କ୍ଷେତ୍ରରେ ବହୁ ନାଟକୀୟ ପରିବର୍ତ୍ତନମାନ ପରିଲକ୍ଷିତ ହେଲା । ବିବିଧ ଦୃଷ୍ଟିକୋଣରୁ ଏହି କ୍ୱାଣ୍ଟମବାଦ, ତରଙ୍ଗବାଦର ଠିକ୍ ବିପରୀତ ବୋଲି ମନେହୁଏ । ନିର୍ଭୁଲ ପରୀକ୍ଷାଦ୍ୱାରା ପ୍ରତିପାଦିତ ହୋଇଥିବାରୁ, ଏହି ଦୁଇ ତତ୍ତ୍ୱ ମଧ୍ୟରେ ଏକ ସମନ୍ୱୟ ସ୍ଥାପନ କରିବା ବିଂଶ ଶତାବ୍ଦୀର ପ୍ରଥମ ପାଦରେ ଏକ ପ୍ରଧାନ ସମସ୍ୟା ହୋଇଥିଲା ।

ନିମ୍ନରେ ଏହି ଇତିହାସର ସୂଚନା ଦିଆଯିବ । ଏଥିପାଇଁ ପୂର୍ବ ବିଷୟ ଗୁଡ଼ିକକୁ ସୁବିଧାନୁସାରେ ତିନୋଟି ପର୍ଯ୍ୟାୟରେ ବିଭକ୍ତ କରି ଦିଆଯାଇ ପାରେ ।

ପ୍ରଥମ ପର୍ଯ୍ୟାୟଟି ଅତି ପୁରାତନ କାଳରୁ ପ୍ରାୟ ଖ୍ରୀଷ୍ଟାବ୍ଦ ୧୫୫୦ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ପରିବ୍ୟାପ୍ତ । ଖ୍ରୀଷ୍ଟାବ୍ଦ ୧୫୫୦ ବେଳକୁ ମୋଟାମୋଟି ଭାବରେ ପରୀକ୍ଷା ପ୍ରଣାଳୀର ସୂତ୍ରପାତ ହେଲା । ଏହି ଦୀର୍ଘ ସମୟ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରାକୃତିକ ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକକୁ ଲକ୍ଷ୍ୟ କରି ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ-ବିଷୟକ ନାନା ତଥ୍ୟ ସଂଗ୍ରହ କରାଯାଇଥିଲା; କିନ୍ତୁ କୌଣସି ବିଶେଷ ତତ୍ତ୍ୱ ଏଥିରୁ ଆବିଷ୍କାର କରାଯିବା ସମ୍ଭବ ହୋଇପାରି ନ ଥିଲା । କାରଣ କଳ୍ପନା ସର୍ବସ୍ୱ ଦାର୍ଶନିକ ଯୁକ୍ତିମାନ ହୁଏତ ଏଥିପାଇଁ ଉତ୍କୃଷ୍ଟ ନ ଥିଲେ । ପୁନଶ୍ଚ ଏହାର ଅନ୍ୟଏକ ପ୍ରଧାନ ପ୍ରତିବନ୍ଧକ ହେଉଛି ଏହି ତତ୍ତ୍ୱଗୁଡ଼ିକର ସତ୍ୟାସତ୍ୟ ନିର୍ଦ୍ଧାରଣ କରିବାପାଇଁ ପରୀକ୍ଷାର ଏକାନ୍ତ ଅଭାବ ଥିଲା ତେଣୁ ଏହି ସମୟର ଶୃଙ୍ଖଳିତ ପରୀକ୍ଷାର ଅଭାବହିଁ ଏକ ମୁଖ୍ୟ ବିଶେଷତ୍ୱ ।

ଖ୍ରୀଷ୍ଟାବ୍ଦ ୧୫୫୦ରୁ ୧୮୦୦ ଖ୍ରୀଷ୍ଟାବ୍ଦ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ସମୟ ହେଉଛି ଦ୍ୱିତୀୟ ପର୍ଯ୍ୟାୟ । ଗିଲ୍‌ବର୍ଟ୍, ଗାଲିଲିଓ, ନିଉଟନ, ହାଇଗେନ୍, ବଏଲ୍‌ଙ୍କ ପରି ମନୀଷୀମାନଙ୍କର ଚେଷ୍ଟା ଫଳରେ ଏହି ସମୟ ମଧ୍ୟରେ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ କ୍ଷେତ୍ରରେ ବହୁ ଭାବରେ ମୌଳିକ ଉନ୍ନତିମାନ ସମ୍ଭବ ହୋଇଥିଲା । ଏ କାଳର ପ୍ରଧାନ ବିଶେଷତ୍ୱ ହେଲା—ବୈଜ୍ଞାନିକ ଗବେଷଣାପାଇଁ ପରୀକ୍ଷା ପଦ୍ଧତିର ଅଭ୍ୟୁଦୟ ଓ ତାର ଦୃଢ଼ ପ୍ରତିଷ୍ଠା । ଗାଲିଲିଓଙ୍କର ଯୁଗାନ୍ତକାରୀ ପ୍ରଚେଷ୍ଟା (୧୫୬୪—୧୬୪୨) ଦ୍ୱାରା ଏହାର ଶୁଭାରମ୍ଭ ହେଲା; କିନ୍ତୁ ନିମ୍ନଲିଖିତ ନୀତିଟି ସଚରାଚର ଆଦୃତ ହେବା ପାଇଁ ଦୁଇ ଶତାବ୍ଦୀଯାଏ ସମୟ ଥିଲା ।

ପରୀକ୍ଷା ଉପରେ ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷିତ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନ୍ୟ ପ୍ରକଳ୍ପିତ ପରୀକ୍ଷାଗୁଡ଼ିକ ଦ୍ୱାରା ସ୍ୱୀକୃତ ହୋଇ ଗୃହୀତ ହେବାଦ୍ୱାରା ଅସ୍ୱୀକୃତ ହୋଇ ପରିତ୍ୟକ୍ତ ହେବାଦ୍ୱାରା ହିଁ ବିଜ୍ଞାନର ଅଗ୍ରଗତି ସମ୍ଭବ ।

ତୃତୀୟ ପର୍ଯ୍ୟାୟଟି ୧୮୦୦ ମସିହାରୁ ୧୮୯୦ ମସିହା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ପରିବ୍ୟାପ୍ତ ଆଧୁନିକ ଶତାବ୍ଦୀର କ୍ୱାଣ୍ଟମ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନଠାରୁ ପୁରାତନ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ ଆଲୋଚ୍ୟ ସମୟରେ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ହୋଇଗଲା । କାଉଣ୍ଟ ରମ୍‌ଫୋର୍ଡ଼ ଓ ଜୋଲ୍‌ଙ୍କର ପରୀକ୍ଷାଗୁଡ଼ିକରୁ ବର୍ତ୍ତମାନର "ତାପର ଗତିତତ୍ତ୍ୱ" (Kinetic theory of heat) ଜନ୍ମଲାଭ କଲା । ଥମାସ୍ ୟଙ୍ଗ (୧୮୦୨)ଙ୍କର ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣ ଏବଂ ଦୁଇଟି ଆଲୋକ ରଶ୍ମିର ବ୍ୟତିକରଣ (interference) ସମ୍ବନ୍ଧରେ ତାଙ୍କର ପ୍ରସ୍ତାବ ସର୍ବଶେଷରେ ହାଇଗେନଙ୍କ ଆଲୋକର ତରଙ୍ଗବାଦର ବିଜୟ ପାଇଁ ପଥ ପ୍ରସ୍ତୁତ କରିଦେଲା । ଫାରଡ଼େ ଓ ଅନ୍ୟମାନଙ୍କର ଗବେଷଣାର ଫଳାଫଳ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଏହି ସମୟର ସର୍ବଶ୍ରେଷ୍ଠ ଅବଦାନ । ଏହା ବିଦ୍ୟୁତ୍ ଚୁମ୍ବକ ତତ୍ତ୍ୱ ଆବିଷ୍କାର ପାଇଁ ମ୍ୟାକ୍‌ସଓ୍ୱେଲଙ୍କୁ ବିଷୟବସ୍ତୁ ଯୋଗାଇ ଦେଇଥିଲା ।

ପ୍ରଥମ ପର୍ଯ୍ୟାୟ : ଆଦିକାଳରୁ ୧୫୫୦ ମସିହା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ —

1.2 ଗ୍ରୀକ୍ ବୈଜ୍ଞାନିକଗଣ :

ଗ୍ରୀକ୍‌ମାନେ ଗଣିତ, ସାହିତ୍ୟ, କଳା ଓ ଦର୍ଶନକ୍ଷେତ୍ରରେ ଜଗତକୁ ଯେତେ ଜ୍ଞାନ ଦେଇ ଯାଇଛନ୍ତି; ତା ତୁଳନାରେ ପ୍ରାକୃତିକ ବିଜ୍ଞାନକୁ ସେମାନଙ୍କର ଦାନ ଏକାନ୍ତ ସ୍ୱଳ୍ପ । ପ୍ରାକୃତିକ ବିଜ୍ଞାନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଅସ୍ପଷ୍ଟ ଉଦ୍ଭଟ କଳ୍ପନା ଏବଂ ତତ୍ତ୍ୱାବଳୀର ସତ୍ୟାସତ୍ୟ ପରୀକ୍ଷାଦ୍ୱାରା ସ୍ଥିର କରିବାର ବ୍ୟବସ୍ଥାର ଅଭାବ ହେତୁ ୧୪୦୦ ମସିହା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନରେ ଯାହା କିଛି ଜଣାଥିଲା, ତାହା ଏହି ଗ୍ରୀକ୍‌ମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ହିଁ ସମ୍ଭବ ହୋଇ ପାରିଥିଲା । ସେମାନଙ୍କର ଲେଖା ମଧ୍ୟରେ ବହୁ ମୌଳିକ ଚିନ୍ତାର ସୂଚନା ମିଳେ । ଯଥା—ବସ୍ତୁର ଅବିନଶ୍ୱରତା ନିଶ୍ଚେଷ୍ଟତା (inertia) ପରମାଣୁବାଦ, ଆଲୋକର ସୀମିତ ଗତି ଏବଂ ଏହିପରି ଆହୁରି ଅନେକ କଥା ।

1.3 ଥେଲସ୍ (୬୪୦—୫୪୬ ଖ୍ରୀପୂ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ) *

ଆରିଷ୍ଟୋଟଲଙ୍କ ମତରେ, ଚୁମ୍ବକର ଓ ଘର୍ଷିତ ଅମ୍ବରର ଆକର୍ଷଣ ଶକ୍ତି ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଥେଲସ୍‌ଙ୍କର ଜ୍ଞାନ ଥିଲା । କଥିତ ଅଛି ଥେଲସ ପୃଥିବୀର ଗୋଲକାକାର ଓ ଏହାର କକ୍ଷର ଅବନତି ଆବିଷ୍କାର କରିଥିଲେ; କିନ୍ତୁ ପୃଥିବୀ ସିଲିଣ୍ଡର ଆକାରର ଏବଂ ଏହା ପାଣି ଉପରେ ରହିଅଛି ବୋଲି ଥେଲସ ମତପ୍ରକାଶ କରିଥିଲେ । ଏହା ଆରିଷ୍ଟୋଟଲଙ୍କ ଉକ୍ତିରୁ ଜଣାଯାଏ ।

1.4 ପାଇଥାଗୋରସ୍ (୫୮୦—୫୦୦ ଖ୍ରୀପୂ) :

ପୁରାକାଳର ପ୍ରଧାନ ଗ୍ରୀକ୍ ଦାର୍ଶନିକମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ପାଇଥାଗୋରସ ଏକ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଚିନ୍ତାଧାରାର ପ୍ରତିଷ୍ଠାତା । ସେ ପୃଥିବୀ ଗୋଲକାର ବୋଲି ମତ ପୋଷଣ କରିଥିଲେ । ସେ କେଉଁ ସୂତ୍ରରୁ ଏହି ସିଦ୍ଧାନ୍ତରେ ଉପନୀତ ହୋଇଥିଲେ ତାହା ଜଣାନାହିଁ । ହୁଏତ ସମସ୍ତ ପ୍ରକାରର ରୂପ ମଧ୍ୟରେ ଗୋଲକ ହିଁ ନିଖୁଣ ଓ ପୂର୍ଣ୍ଣ ହୋଇଥିବାରୁ ସେ ଏପରି ମତ ପୋଷଣ କରି ଥାଇପାରନ୍ତି । ପାଇଥାଗୋରସ୍ ବିଶ୍ୱାସ କରୁଥିଲେ ଯେ ସମସ୍ତ ବିଶ୍ୱ ଗୋଲକାକାର ଏବଂ ପୃଥିବୀ ଏହାର କେନ୍ଦ୍ରସ୍ଥଳରେ ଅବସ୍ଥିତ । ପୃଥିବୀକୁ କେନ୍ଦ୍ରରେ ରଖି ବିଭିନ୍ନ ବୃତ୍ତରେ ସୂର୍ଯ୍ୟ, ତାରାବୃନ୍ଦ ଏବଂ ଗ୍ରହ ସମୂହ ଗତି କରୁଛନ୍ତି ।

1.5 ଆନାକ୍ସାଗୋରସ (୫୦୦—୪୨୮ ଖ୍ରୀପୂ) ଏବଂ ଇମ୍ପେଡ଼କ୍ଲସ୍ (୪୮୪—୪୨୪ ଖ୍ରୀପୂ)

ପ୍ଲେଟୋଙ୍କ ମତରେ, ଆନାକ୍ସାଗୋରସ୍ ବିଜ୍ଞାନରୁ ଗବେଷଣାରେ ମଜ୍ଜି ରହି ନିଜର ପାର୍ଥିବ ଧନ ସମ୍ପତ୍ତି ପ୍ରତି ବିତୃଷ୍ଣା ପ୍ରକାଶ କରିଥିଲେ । ସେ ନିମ୍ନଲିଖିତ ତଥ୍ୟଗୁଡ଼ିକ ଆବିଷ୍କାର କରିଥିଲେ ବୋଲି କୁହା ଯାଇଥାଏ ।

ଚନ୍ଦ୍ର ନିଜର ଆଲୋକରେ ଆଲୋକିତ ହେଉନାହିଁ; ସୂର୍ଯ୍ୟ ଚନ୍ଦ୍ରକୁ ତା'ର ଉଜ୍ଜ୍ୱଳତା ଦେଉଛି ।" "ପୃଥିବୀ ମଧ୍ୟସ୍ଥ ହେବାଦ୍ୱାରା ଚନ୍ଦ୍ର-ଗ୍ରହଣ ହେଉଛି ।" "ଚନ୍ଦ୍ର ମଧ୍ୟମ ହେବାଦ୍ୱାରା ଅମାବାସ୍ୟାରେ ସୂର୍ଯ୍ୟପରାଗ ହେଉଅଛି ।" ସେ ସମସ୍ତରେ

* ପୁରାକାଳର ଏହି ସମୟଗୁଡ଼ିକ ନିଶ୍ଚିତ ଭାବରେ କହିହେବ ନାହିଁ; ଏଥିରେ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ମତ ଦେଖାଯାଏ ।

ଆନାକ୍ସାଗୋରସ୍‌ଙ୍କୁ ବିଧର୍ମୀ ବୋଲି ଦୋଷ ଦିଆଯାଇଥିଲା । କାରଣ ସୂର୍ଯ୍ୟ ଏକ ଲାଲ ଉତ୍ତପ୍ତ ପିଣ୍ଡ ବୋଲି ସେ ଶିକ୍ଷା ଦେଇଥିଲେ ଏବଂ ଚନ୍ଦ୍ର କେବଳ ପୃଥିବୀ ପରି ଏକବସ୍ତୁ ବୋଲି ସେ ମତ ଦେଇଥିଲେ । ତାଙ୍କର ଏହି ମତ ଲାଗି ତାଙ୍କୁ ଏଥେନ୍‌ସରୁ ବହିଷ୍କାର କରାଯାଇଥିଲା ।

ଡେମୋକ୍ରେଟସ୍ ଏହାର ଉତ୍ତର କାଳର ଲୋକ । ମାଧ ସେ ଯେଉଁ ଆଟମ୍‌ବାଦ ବା ପରମାଣୁବାଦର ଉଲ୍ଲେଖ କରିଥିଲେ ତା ପୂର୍ବରୁ ଆନାକ୍ସାଗୋରସ ଏହି ପରମାଣୁ-ବାଦର ସୂଚନା ଦେଇଥିଲେ । ବସ୍ତୁର ସୃଷ୍ଟି ଓ ନାଶ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ତାଙ୍କ ପୂର୍ବରୁ ଗ୍ରୀକ୍‌ମାନଙ୍କର ଧାରଣାକୁ ଆନାକ୍ସାଗୋରସ ଅସ୍ୱୀକାର କରିଥିଲେ । ବସ୍ତୁରେ ହେଉଥିବା ପରିବର୍ତ୍ତନ ସେଥିରେ ଥିବା କ୍ଷୁଦ୍ର ଅଦୃଶ୍ୟ କଣା ବା କ୍ଷର୍ମାଂଶଗୁଡ଼ିକର ଯୋଗ ବା ବିଯୋଗ ଲାଗି ଘଟିଥାଏ ବୋଲି ସେ ଶିକ୍ଷା ଦେଇଥିଲେ । ଏହି କଣାଗୁଡ଼ିକ ଅପରିବର୍ତ୍ତନୀୟ ଓ ନିତ୍ୟ, ମାତ୍ର ଆକାର, ବର୍ଣ୍ଣ ଓ ସ୍ୱାଦରେ ପରସ୍ପରଠାରୁ ଭିନ୍ନ । ଏହି ଚିନ୍ତା "ବସ୍ତୁର ଅବିନଶ୍ୱରତା"—ନିୟମର ଜନ୍ମଦାତା ।

ଅନ୍ୟ ପକ୍ଷରେ ଇମ୍ପେଡକ୍ଲସ୍ ଚାରୋଟି ମୌଳିକ ବସ୍ତୁ କଥା କହିଥିଲେ; ଏଗୁଡ଼ିକ ହେଲେ—କ୍ଷିତି, ଅପ୍, ତେଜ, ମରୁତ । ଏହି ଚାରୋଟି ମୌଳିକ ବସ୍ତୁର ଯୋଗ ଓ ବିଯୋଗ ଦ୍ୱାରା ସମସ୍ତ ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଅଛି । ସେ ବିଶ୍ୱାସ କରୁଥିଲେ ଯେ ପ୍ରତ୍ୟକ୍ଷ ବସ୍ତୁରୁ କ୍ଷୁଦ୍ର କଣାସବୁ ବିଚ୍ଛୁରିତ ହୋଇ ଆଖିରେ ପ୍ରବେଶ କରେ ଓ ସେଠାରୁ ବସ୍ତୁକୁ ଫେରିଆସେ । ଏହି ଦୁଇ ସ୍ରୋତ ଫଳରେ ବସ୍ତୁର ଆକାର, ବର୍ଣ୍ଣ ପ୍ରଭୃତି ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଧାରଣା ହୁଏ ।

ଆରିଷ୍ଟୋଟଲ କହନ୍ତି ଯେ ଆଲୋକ ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁରୁ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁକୁ ଯିବା ପାଇଁ ସମୟ ଲାଗେ ବୋଲି ଇମ୍ପେଡକ୍ଲସ୍ ବିଶ୍ୱାସ କରୁଥିଲେ; କିନ୍ତୁ ଏହି ଧାରଣା ଭୁଲ ବୋଲି ଆରିଷ୍ଟୋଟଲ କହିଥିଲେ । ତାଙ୍କ ମତରେ "ଯଦିଓ ଅଳ୍ପ ଦୂରତା ମଧ୍ୟରେ ଆମର ଏପରି ପ୍ରହେଳିକା ହୋଇପାରେ, ପୂର୍ବରୁ ପଶ୍ଚିମକୁ ସମସ୍ତ ଦୂରତାକୁ ମଧ୍ୟରେ ଏହା ସତ୍ୟ ବୋଲି ସ୍ୱୀକାର କରିବା ଅବାନ୍ତର ।"

1.6 ଡେମୋକ୍ରେଟସ୍ (୪୬୦ —୩୭୦ ଖ୍ରୀ.ପୂ.)

ଆନାକ୍ସାଗୋରସ୍‌ଙ୍କର ଆଟମ୍‌ବାଦ ବା କଣାବାଦକୁ ସେ ଅଧିକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ରୂପରେଖ ଦେଇଥିଲେ । ସେ କଳ୍ପନା କରିଥିଲେ ଯେ ବିଶ୍ୱ ଶୂନ୍ୟ ସ୍ଥାନର ସମାହାର ଏବଂ ଅସଂଖ୍ୟ ଅଭଙ୍ଗୁର ଅଦୃଶ୍ୟ ବସ୍ତୁକଣାରେ ପୂର୍ଣ୍ଣ । ଏହି କଣାଗୁଡ଼ିକ ପରସ୍ପରଠାରୁ ଆକାରରେ, ଅବସ୍ଥାରେ ଓ ସଜ୍ଜାରେ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ । ଏହି ଚିନ୍ତାଧାରାର ସପକ୍ଷରେ ସେ ଯୁକ୍ତି କରୁଥିଲେ ଯେ ଶୂନ୍ୟରୁ କିଛି ସୃଷ୍ଟି ହୋଇପାରିବ ନାହିଁ, ତେଣୁ ବସ୍ତୁର ସୃଷ୍ଟି ଅସମ୍ଭବ । ଯାହାର ଅସ୍ତିତ୍ୱ ଅଛି, ତାହା କେବେ ଲୋପ ହୋଇ ନ ପାରେ । ଆରିଷ୍ଟୋଟଲ ଏହି ଚିନ୍ତାକୁ ନିମ୍ନୋକ୍ତ ପ୍ରଣାଳୀରେ ପ୍ରକାଶ କରିଥିଲେ—

ଯଦି ବର୍ତ୍ତମାନ ରହିଥିବା କୌଣସି ବସ୍ତୁ ଅବିରତ ଭାବରେ ଉଭେଇ ଯାଉଅଛି, ତେବେ ବହୁକାଳରୁ ଥିବା କୌଣସି ବସ୍ତୁ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଉଭେଇ ଯାଉନାହିଁ କାହିଁକି ?

କିନ୍ତୁ ଆରିଷ୍ଟୋଟଲ ଏହି ଆଟମ୍‌ବାଦ ବା କଣାବାଦକୁ ଅସ୍ୱୀକାର କରିଥିଲେ ।

1.7 ଆରିଷ୍ଟୋଟଲ (୩୮୪ —୩୨୨ ଖ୍ରୀ.ପୂ.)

ଦାର୍ଶନିକ ପ୍ଲେଟୋଙ୍କର ଶିଷ୍ୟ । ଆରିଷ୍ଟୋଟଲ ଜ୍ଞାନର ବିଭିନ୍ନ ବିଭାଗକୁ ଅର୍ଥାତ୍ ତର୍କଶାସ୍ତ୍ର, ଅଳଙ୍କାର ଶାସ୍ତ୍ର, ନୀତିଶାସ୍ତ୍ର, ଦର୍ଶନଶାସ୍ତ୍ର, ମନସ୍ତତ୍ତ୍ୱ ଓ ପ୍ରାକୃତିକ ବିଜ୍ଞାନ ରୂପେ ଏତେ ବେଶୀ ଦାନ ଦେଇ ଯାଇଛନ୍ତି ଯେ ସେଥିରୁ ପ୍ରାକୃତିକ ବିଜ୍ଞାନ ପାଇଁ ତାଙ୍କର ଅବଦାନକୁ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନର କ୍ଷୁଦ୍ର ଇତିହାସରେ ପ୍ରକାଶ କରିବା କଷ୍ଟକର । ଜ୍ଞାନର ବହୁ ବିଭାଗରେ ତାଙ୍କର ପରିପକ୍ୱ ଚିନ୍ତାଧାରା ଓ ଧୀଶକ୍ତିର ପରିପ୍ରକାଶ ଏପରି ଚମତ୍କାର ଭାବେ ପ୍ରତିଫଳିତ ହୋଇଥିଲା ଯେ ଏହି ଗୋଟିକ କାରଣରୁ ବହୁ ଶତାବ୍ଦୀ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ ସହ ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ସମସ୍ତ ବିଭାଗରେ ଏହା ଅନୁଭୂତ ହେଉଥିଲା । ଆଧୁନିକ ବିଂଶ ଶତାବ୍ଦୀରୁ ସମାଲୋଚନା କରିବାପାଇଁ ଆଖି ପକାଇଲେ ଭୌତିକ ଜଗତ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ତାଙ୍କର କୌଣସି ସାମାନ୍ୟତମ ଯୁକ୍ତି ନିର୍ବୋଧ ଉକ୍ତି ବୋଲି ମନେ ହେବ ନାହିଁ ।

ତଥାପି ତାଙ୍କର କଳ୍ପନାଗୁଡ଼ିକୁ ସାବ୍ୟସ୍ତ କରିବାପାଇଁ ଆରିଷ୍ଟୋଟଲ ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷିତ ଘଟଣାବଳୀର ସାହାଯ୍ୟ ନେଉଥିଲେ । ଉଦାହରଣସ୍ୱରୂପ; "De Caelo" (ଦ୍ୱିତୀୟ ସର୍ଗ, ଚତୁର୍ଦ୍ଦଶ ଅଧ୍ୟାୟ)ରେ ପୃଥିବୀ ଗୋଲାକାର ବୋଲି ମୋଟାମୋଟି ଯୁକ୍ତି ଛଳରେ ପ୍ରମାଣ କରିବା ପରେ ହିଁ ସେ କହିଛନ୍ତି ।

ସମସ୍ତ ଇନ୍ଦ୍ରିୟାନୁଭୂତ ଏହା ସମର୍ଥନ କରେ । ନହେଲେ ଚନ୍ଦ୍ର ଗ୍ରହଣରେ ଯେପରି ଖଣ୍ଡିତ ଦେଖାଯାଏ, ସେପରି କପରି ଦେଖାଯାନ୍ତା ?··· ପୃଥିବୀର ମଧ୍ୟସ୍ଥ ହେବା ଫଳରେ ଚନ୍ଦ୍ର ଗ୍ରହଣ ହେଉଥିବାରୁ, ଏହି ରେଖାର ଅକାର (ଅର୍ଥାତ୍, ଚନ୍ଦ୍ର ଉପରେ ପୃଥିବୀର ଛାୟା) ପୃଥିବୀର ଉପରିଭାଗ ଦ୍ଵାରା ସୃଷ୍ଟିହେବ । ତେଣୁ ଏହା ଗୋଲାକାର ।

ଉତ୍ତର ବା ଦକ୍ଷିଣକୁ ଗତି କଲେ କୌଣସି ତାରକାର ଉଚ୍ଚତାରେ ଦେଖାଯାଉଥିବା ପରିବର୍ତ୍ତନକୁ ଲକ୍ଷ୍ୟକରି ସେ ସିଦ୍ଧାନ୍ତରେ ଉପନୀତ ହେଲେ ଯେ "କେବଳ ଯେ ପୃଥିବୀ ବୃତ୍ତାକାର ତା ନୁହେଁ. ଏହି ବୃତ୍ତ ଆକାରରେ ଖୁବ୍ ବଡ଼ ନୁହେଁ ।

ଆରିଷ୍ଟୋଟ୍‌ଲ କହିଥିଲେ ଯେ ବୈଜ୍ଞାନିକ ଚିନ୍ତାଧାରାର ଉନ୍ନତି ପାଇଁ, ଘଟୁଥିବା ପ୍ରକୃତ ଘଟଣାବଳୀ ଉପରେ ଅଧିକ ଲକ୍ଷ୍ୟ ରଖାଯିବା ଉଚିତ୍; କିନ୍ତୁ ସେ ନିଜେ କାର୍ଯ୍ୟରେ ଏହା ପାଳନ କରି ନ ଥିଲେ । "De Generatione et Corruptione" (ପ୍ରଥମ ଭାଗ, ଦ୍ଵିତୀୟ ଅଧ୍ୟାୟ) ରେ ଗୋଟିଏ ପରିଚ୍ଛେଦରେ ସେ କହିଛନ୍ତି—

ସ୍ଵୀକୃତ ବିଷୟଗୁଡ଼ିକ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ବ୍ୟାପକ ଧାରଣା କରିବାରେ ଆମର କ୍ଷମତାକୁ ଅନୁଭୂତିର ଅଭାବ ସଙ୍କୁଚିତ କରିଥାଏ । ତେଣୁ ଯେଉଁମାନେ ପ୍ରକୃତି ଓ ଏହାର ଘଟଣା ଗୁଡ଼ିକ ସହିତ ଘନିଷ୍ଠଭାବରେ ଜଡ଼ିତ ହୋଇ ରହନ୍ତି, ସେମାନଙ୍କର ତତ୍ତ୍ଵର ମୂଳ ନୀତିଗୁଡ଼ିକ ବିସ୍ତୃତ ଓ ଯଥାଯଥଭାବେ ଗଢ଼ି ଉଠି ପାରିବ । ମାତ୍ର ଯେଉଁମାନେ କେବଳ କାଳ୍ପନିକ ଯୁକ୍ତି ଉପରେ ନିର୍ଭର କରନ୍ତି, ପ୍ରକୃତିର ଘଟଣାବଳୀ ପ୍ରତି ଉଦାସୀନ ରହନ୍ତି, ସାମାନ୍ୟ କେତୋଟି ଘଟଣାକୁ ଲକ୍ଷ୍ୟ କରି ବିଭ୍ରାନ୍ତ ମତ ଦେଇଥାନ୍ତି ।

ଏହା ବିଂଶଶତାବ୍ଦୀର ବୈଜ୍ଞାନିକମାନଙ୍କ ପାଇଁ ମଧ୍ୟ ନିଶ୍ଚିତଭାବରେ ଏକ ଉତ୍ତମ ସିଦ୍ଧାନ୍ତ ।

ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଆରିଷ୍ଟୋଟ୍‌ଲଙ୍କ ଧାରଣାଗୁଡ଼ିକ ସଂକ୍ଷେପରେ ପ୍ରକାଶ କରିବାର ଚେଷ୍ଟା ଏ ପୁସ୍ତକର ପରିସରର ବାହାରେ । ମାତ୍ର ତାଙ୍କର ଦୁଇଟି ସିଦ୍ଧାନ୍ତର ଏଠାରେ ସୂଚନା ଦିଆଯାଇପାରେ, କାରଣ ଏହି ସିଦ୍ଧାନ୍ତ ଦୁଇଟିର ଏହାପରେ ଇତିହାସ ସହିତ ସମ୍ପର୍କ ରହିଅଛି ।

ପ୍ରଥମଟି ହେଲା, ଭୂପତିତ ବସ୍ତୁଗୁଡ଼ିକ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ତାଙ୍କର ଯାହା ମତ ବୋଲି ବୁଝାଯାଏ । ସାଧାରଣତଃ କୁହାଯାଏ ଯେ ଆରିଷ୍ଟୋଟଲଙ୍କର ବିଶ୍ୱାସ ଥିଲା କୌଣସି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଉଚ୍ଚତାରୁ ପଡ଼ୁଥିବା ଗୋଟିଏ ଓଜନିଆ ଜିନିଷ ଗୋଟିଏ ହାଲୁକା ଜିନିଷଠାରୁ ଅଧିକ ବେଗରେ ପଡ଼ିଥାଏ । ଆରିଷ୍ଟୋଟଲ ଏ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଠିକ୍ କି ମତ ପୋଷଣ କରୁଥିଲେ, ତାହା ତାଙ୍କ ଲେଖାରୁ ବୁଝିବା କଷ୍ଟକର । ଏ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ସେ ଯେଉଁ ପରିଚ୍ଛେଦରେ କହିଥିଲେ, ସେଥିରେ ସେ ଶୂନ୍ୟତାର ଅସ୍ତିତ୍ୱସମ୍ବନ୍ଧରେ ଯୁକ୍ତି କରୁଥିଲେ । ଉଦାହରଣ-ସ୍ୱରୂପ ସେ କହିଛନ୍ତି—

†ଆମେ ଦେଖୁ ଯେ ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁଠାରୁ ଦୁଇଟି କାରଣରୁ ଅଧିକ ବେଗରେ ଗତି କରିଥାଏ । ହୁଏତ ଏହା ଯେଉଁ ମାଧ୍ୟମରେ ଗତି କରେ ସେଥିରେ ପ୍ରଭେଦ ଥାଏ ଯେପରିକି ପାଣି, ପବନ ଓ ମାଟି ବା ହୁଏତ, ଅନ୍ୟ ସବୁ ସମାନ ଥାଇ ଗତିଶୀଳବସ୍ତୁ ଅନ୍ୟଠାରୁ ଓଜନରେ ଭିନ୍ନ ହୁଏ··· । ଯଦି ମାଧ୍ୟମଟି ଘନ ନ ହୁଏ, କମ୍ ବାଧା ଦିଏ ଏବଂ ସହଜରେ ଭାଗ ହୋଇ ଯାଇପାରେ; ତେବେ ଗତି ଅଧିକ ହୁଏ ।

ଏଠାରେ ଏବଂ ଅନ୍ୟ ସବୁଠାରେ ଆରିଷ୍ଟୋଟଲ ଗୋଟିଏ ମାଧ୍ୟମରେ ବସ୍ତୁର ଗତି କଥା କହିଛନ୍ତି । ସେ ଶେଷ ଗତିବେଗ କଥା ମଧ୍ୟ କହିପାରିଥାନ୍ତି; ଯେଉଁ ଅପରିବର୍ତ୍ତିତ ଗତିବେଗରେ ବର୍ଷାର ଜଳବିନ୍ଦୁ ପୃଥିବୀ ନିକଟରେ ଖସି ପଡ଼େ । ଓଜନିଆ ଜଳବିନ୍ଦୁ-ଗୁଡ଼ିକ ଅଧିକ ବେଗରେ ପଡ଼ିଥାଏ । ହୁଏତ ହୋଇପାରେ ଯେ ସବୁବେଳେ କୌଣସି ନା କୌଣସି ମାଧ୍ୟମ ନିଶ୍ଚୟ ରହିବ ବୋଲି ଆରିଷ୍ଟୋଟଲର ବିଶ୍ୱାସ କରି ଶେଷ ଗତିବେଗ ଓ ସାଧାରଣ ଗତିବେଗ ମଧ୍ୟରେ ପାର୍ଥକ୍ୟ ନ ବୁଝି, ଯେ କୌଣସି ଅବସ୍ଥାରେ ଓଜନିଆ ବସ୍ତୁ ଅଧିକ ବେଗରେ ଗତିକରେ ବୋଲି ସ୍ୱଭାବତଃ ବିଶ୍ୱାସ କରୁଥିଲେ ।

ଦ୍ୱିତୀୟ ସିଦ୍ଧାନ୍ତଟି ହେଲା, ସୂର୍ଯ୍ୟ, ଚନ୍ଦ୍ର ଓ ପୃଥିବୀର ଗତି ସମ୍ବନ୍ଧରେ ତାଙ୍କର ଧାରଣା । ତାଙ୍କର "De Caelo" ରେ (ଦ୍ୱିତୀୟ ଭାଗ, ଚତୁର୍ଦ୍ଦଶ ଅଧ୍ୟାୟ) କେତେକ

---

† ଆରିଷ୍ଟୋଟଲର ଏହି ଉଦ୍ଧୃତାଂଶଟି ଓ ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ଗୁଡ଼ିକ "The works of Aristotle Translated into English, Vol. II, Clarendon Press, Oxford, 1930ରୁ ନିଆଯାଇଅଛି ।

କାଲ୍ପନିକ ଯୁକ୍ତି କରିବାପରେ ସେ କହିଲେ, "ଓଜନିଆ ଜିନିଷକୁ ବଳ ପ୍ରୟୋଗ କରି ଠିକ୍ ସରଳଭାବରେ ଉପରକୁ ଫିଙ୍ଗିଦେଲେ, ଏହା ଅସୀମ ଦୂରତାକୁ ଉଠିଗଲେ ମଧ୍ୟ ପୁଣି ଫିଙ୍ଗାଯାଇଥିବା ସ୍ଥାନକୁ ଫେରିଆସିବ ।" ଆରିଷ୍ଟୋଟ୍‌ଲ ସିଦ୍ଧାନ୍ତ କଲେ— "ପୃଥିବୀ ଗତି କରେ ନାହିଁ, ଏହା କେନ୍ଦ୍ର ବ୍ୟତୀତ ଅନ୍ୟ କୌଣସିଠାରେ ରହି ନ ପାରେ ।" ସେ କଳ୍ପନା କରିଥିଲେ ଯେ ସୂର୍ଯ୍ୟ, ଗ୍ରହରାଜି ଏବଂ ତାରକାସବୁ ବିଭିନ୍ନ ସ୍ୱଚ୍ଛ କେନ୍ଦ୍ରିକ ଗୋଲକରେ ଅବସ୍ଥାନ କରିଛନ୍ତି ଓ ଏହି ଗୋଲକପୁଞ୍ଜ ସେମାନଙ୍କର କେନ୍ଦ୍ରରେ ଥିବା ପୃଥିବୀ ଚାରିପଟେ ଘୂରୁଛନ୍ତି ।

1.8 ଆରିଷ୍ଟାର୍ଚସ୍ (୩୧୦—୨୩୦ ଖ୍ରୀପୂ.) :

ପ୍ରାୟ ୨୦୦୦ ବର୍ଷ ପରେ କୁପରନିକସ ସୃଷ୍ଟିତତ୍ତ୍ୱ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଯେଉଁ ମତ ଦେଇଥିଲେ ଆରିଷ୍ଟାର୍ଚସ୍ ମୋଟାମୋଟି ସେହି ମତ ପ୍ରକାଶ କରିଥିଲେ । ବର୍ତ୍ତମାନ ମିଳୁଥିବା ତାଙ୍କର ଏକମାତ୍ର ଲେଖା "ସୂର୍ଯ୍ୟ ଓ ଚନ୍ଦ୍ରଙ୍କର ଆକାର ଓ ଦୂରତା ସମ୍ବନ୍ଧରେ"—ପୁସ୍ତକରେ ଏହି ମତବାଦ ବିଷୟରେ ଦେଖିବାକୁ ମିଳେ ନାହିଁ । କିନ୍ତୁ ଆର୍କିମେଡ଼ିସ ତାଙ୍କର "ବାଲୁକା ଗଣକ" ପୁସ୍ତକର କହିଛନ୍ତି—"ସାମସ୍‌ର ଆରିଷ୍ଟାର୍ଚସ୍ ଖଣ୍ଡିଏ ପୁସ୍ତକ ପ୍ରକାଶ କରିଛନ୍ତି; ଏଥିରେ ସେ ମତ ଦେଇଛନ୍ତି ଯେ ସୂର୍ଯ୍ୟ ଓ ତାରକାମାନେ ନିଶ୍ଚଳ ରହିଛନ୍ତି; ପୃଥିବୀ ସୂର୍ଯ୍ୟ ଚାରିପଟେ ଗୋଟିଏ ବୃତ୍ତର ପରିଧିରେ ବୁଲୁଅଛି । ସୂର୍ଯ୍ୟ ଏହି କକ୍ଷର ମଧ୍ୟ ସ୍ଥଳରେ ଅବସ୍ଥିତ ।" ସେ ପୁଣି ଲେଖିଛନ୍ତି ତାରକାମାନେ ଯେଉଁ ଗୋଲକ ଉପରେ ସ୍ଥିର ହୋଇ ରହିଛନ୍ତି, ସେ ଗୋଲକଟି ପୃଥିବୀର ବୃତ୍ତାକାର କକ୍ଷଠାରୁ ବହୁତ ବଡ଼ । ମାତ୍ର ଆରିଷ୍ଟୋଟ୍‌ଲଙ୍କର ସମ୍ମାନ ଅତି ଉଚ୍ଚସ୍ତରରେ ଥିଲା । ତେଣୁ ପୃଥିବୀକୁ କେନ୍ଦ୍ରରେ ରଖି ସେ ଯେଉଁ ମତବାଦ ଦେଇଥିଲେ, ତାହା ସେକାଳର ପଣ୍ଡିତମାନଙ୍କ ପାଇଁ ବିଶେଷ ସନ୍ତୋଷଜନକ ଥିଲା । ଫଳରେ ଆରିଷ୍ଟାର୍ଚସ୍‌ଙ୍କ ମତ ପ୍ରାୟ ୨୦୦୦ ବର୍ଷ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ କାର୍ଯ୍ୟତଃ ଲୁଚି ଯାଇଥିଲା ।

1.9 ଆର୍କିମେଡ଼ିସ୍ (୨୮୭—୨୧୨ ଖ୍ରୀପୂ.) :

ବୋଧହୁଏ ସେକାଳର ପ୍ରଧାନ ପଦାର୍ଥବିତ୍ ଆର୍କିମେଡ଼ିସ୍‌ଙ୍କର ଗଣିତ ଶାସ୍ତ୍ରରେ ବହୁ ଦକ୍ଷତା ଥିଲା ଏବଂ ସେ ଜଣେ ବ୍ୟାବହାରିକ ଯାନ୍ତ୍ରିକ ଥିଲେ । ସେ ଅସଂଖ୍ୟ ସ୍କ୍ରୁ, ଜଳସ୍କ୍ରୁ, ଚକ ଏବଂ ଜାଳକ ଦର୍ପଣ ଉଦ୍ଭାବନ କରିଥିଲେ । ସେ ସ୍ଥିତିବିଜ୍ଞାନର ଆରମ୍ଭ କରିଥିଲେ ।

"ଭାସମାନ ବସ୍ତୁ ସମ୍ବନ୍ଧରେ" ନାମକ ଖଣ୍ଡିଏ ପୁସ୍ତକରେ ସେ ଜଳସ୍ଥିତି ବିଜ୍ଞାନର ମୂଳଦୁଆ ପକାଇଥିଲେ । ଏଥିରେ ସେ ତାଙ୍କର ବିଖ୍ୟାତ ନୀତି ବ୍ୟାଖ୍ୟା କରିଥିଲେ— "ଯଦି କୌଣସି ତରଳ ପଦାର୍ଥରେ ଏହାଠାରୁ ଅଧିକ ସାନ୍ଦ୍ର କୌଣସି କଠିନ ପଦାର୍ଥ ରଖାଯାଏ; ତାହା ତରଳ ପଦାର୍ଥର ତଳଭାଗକୁ ଚାଲିଯିବ; ଏହି କଠିନ ପଦାର୍ଥକୁ ତରଳ ପଦାର୍ଥ ମଧ୍ୟରେ ରଖି ଓଜନ କଲେ ଏହା ପ୍ରକୃତ ଓଜନଠାରୁ ସ୍ଥାନାନ୍ତରିତ ହୋଇଥିବା ତରଳ ପଦାର୍ଥର ଓଜନ ପରିମାଣରେ ହାଲୁକା ହୋଇଯିବ ।"

1.10 ଗ୍ରୀକ୍‌ମାନଙ୍କଠାରୁ କୋପରନିକସ୍‌ଙ୍କ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ

ଆର୍କିମେଡ଼ିସ୍ ଓ କୋପରନିକସ୍‌ଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଦୀର୍ଘ ୧୭ ଶତାବ୍ଦୀର ବ୍ୟବଧାନ । ଏ ଦୀର୍ଘ ସମୟର ଘଟଣାବଳୀ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ମୋଟାମୋଟି ଭାବରେ କହିବାକୁ ଗଲାବେଳେ ପାଠକମାନଙ୍କର ମନରେ ଭୁଲ ସନ୍ଦେହ ହେବ ଯେ ଏ ସମୟ ମଧ୍ୟରେ ଯେପରି ଉଲ୍ଲେଖ ଯୋଗ୍ୟ କୌଣସି ଘଟଣା ନାହିଁ । ପୂର୍ବକାଳରେ ଆଲେକ୍‌ଜାଣ୍ଡ୍ରିଆର ଟୋଲେମୀ (୭୦—୧୪୭ ଖ୍ରୀଷ୍ଟାବ୍ଦ) ରେ ସେ ସମୟରେ ଜଣାଥିବା ଆଲୋକ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ବିଭିନ୍ନ ଜ୍ଞାନକୁ ଖଣ୍ଡିଏ ପୁସ୍ତକରେ ସଂଗ୍ରହ କରିଥିଲେ । ସେଥିରେ ସେ ଅନ୍ୟାନ୍ୟ କଥା ଭିତରେ ସମତଳ, ଉତ୍ତଳ, ଅବତଳ ପ୍ରତିଫଳନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଆଲୋଚନା କରିଥିଲେ । ବିଶେଷତଃ ସେ ନିଜେ ପରୀକ୍ଷା କରି ସ୍ଥିର କରିଥିବା ପ୍ରତିସରଣ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ସେଥିରେ ଆଲୋଚନା କରିଥିଲେ । ବାୟୁରୁ କାଚ, ବାୟୁରୁ ଜଳ ଓ ଜଳରୁ କାଚକୁ ଆଲୋକ ଗଲାବେଳେ ଯେଉଁ ନିପତିତ ଓ ପ୍ରତିସରିତ କୋଣଗୁଡ଼ିକ କରିଥାଏ, ସେଗୁଡ଼ିକର ପରିମାଣ ସେ ଡିଗ୍ରୀରେ ଲେଖିଥିଲେ ଏବଂ ଯେଉଁ ଯନ୍ତ୍ର ସାହାଯ୍ୟରେ ସେ ଏ କୋଣସବୁ ମାପିଥିଲେ, ତାହା ମଧ୍ୟ ବର୍ଣ୍ଣନା କରିଥିଲେ । ସେ କହିଥିଲେ ଯେ ଦୁଇଟି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ମାଧ୍ୟମ ପାଇଁ ଏହି କୋଣଗୁଡ଼ିକ ସମାନୁପାତୀ । ବାୟୁରେ ପ୍ରତିସରଣଫଳରେ ତାରକାମାନଙ୍କର ପ୍ରତୀୟମାନ ଉଚ୍ଚତା ପ୍ରଭାବିତ ହେଉଛି ବୋଲି ମଧ୍ୟ ସେ କହିଥିଲେ । ଗ୍ରହମାନଙ୍କର ତାରକାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରତୀୟମାନ ଗତିକୁ ବୁଝାଇବାପାଇଁ ଗ୍ରହମାନେ ସେମାନଙ୍କର କକ୍ଷରେ ପୃଥିବୀର ଚାରିପଟେ କରୁଥିବା ଗତି ନିର୍ଦ୍ଧାରଣର ଏକ ଜଟିଳପନ୍ଥା ସେ ଉଦ୍ଭାବନ କରିଥିଲେ ।

ଟୋଲେମୀଙ୍କଠାରୁ ଆରବୀୟ ଆଲ୍ହାଜେନଙ୍କ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ନଅ ଶତାବ୍ଦୀ—ଆମେରିକାର ଆବିଷ୍କାରଠାରୁ ଆଜି ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଅତିବାହିତ ହୋଇଥିବା ସମୟର ଦୁଇଗୁଣ । ଏହି ସମସ୍ତ

ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରାୟ ସମସ୍ତ ଭୌତିକ ଜଗତରେ ନିଷ୍କ୍ରିୟତା ଦେଖା ଦେଇଥିଲା; କିନ୍ତୁ ପ୍ରାୟ ଅଷ୍ଟମ ଶତାବ୍ଦୀବେଳକୁ ଆରବୀୟମାନେ ରସାୟନଶାସ୍ତ୍ର, ଗଣିତ ଓ ଜ୍ୟୋତିଷଶାସ୍ତ୍ରର ଆଲୋଚନା ଆରମ୍ଭ କରିଥିଲେ । ଗ୍ରୀକ୍‌ମାନଙ୍କର ଲେଖାକୁ ଆରବ ଭାଷାରେ ଅନୁବାଦ କରି ଏବଂ ଗବେଷଣାଦ୍ୱାରା ନୂତନ ତଥ୍ୟ ଆବିଷ୍କାର କରି ସେମାନେ ଶୁଭାରମ୍ଭ କରିଥିଲେ । ପ୍ରାୟ ୧୦୦୦ ମସିହାବେଳକୁ ଅଲ୍ହାଜେନ ସାତଖଣ୍ଡରେ ତାଙ୍କର ଆଲୋକ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ପୁସ୍ତକ ପ୍ରକାଶ କରିଥିଲେ । ଏହି ଗ୍ରନ୍ଥରେ ଆଖିର ଅଲୋକ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ଅଂଶଗୁଡ଼ିକର ସ୍ପଷ୍ଟ ବର୍ଣ୍ଣନା ଦେଖିବାକୁ ମିଳେ । ଗୋଲକାକାର ଓ ସିଲିଣ୍ଡର ଆକାରର ଉତ୍ତଳ ଓ ଅବତଳ ଦର୍ପଣରେ ଆଲୋକର ପ୍ରତିଫଳନ ନିୟମ ଏଥିରେ ଆଲୋଚିତ ହୋଇଅଛି । ପ୍ରତିସରଣ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଏଥିରେ କିଛି ଅଧିକ ବିଷୟ ଦିଆଯାଇଅଛି; ଯଥା—ଆପତିତ କୋଣ ଓ ପ୍ରତିସରିତ କୋଣ ଦୁଇଟି କେବଳ କ୍ଷୁଦ୍ର ହେଲାବେଳେ ସମାନୁପାତୀ ହେବେ ବୋଲି ଅଲୋଚିତ ହୋଇଛି ।

ଏହାପର ୫୦୦ ବର୍ଷ ମଧ୍ୟରେ ଭୌତିକ ବିଜ୍ଞାନରେ ଅନ୍ୟ ସମସ୍ତ ତୁଳନାରେ ଅଳ୍ପ ଉନ୍ନତ ହୋଇଥିଲା । ରୋଜର ବେକନ (୧୨୧୪—୧୨୯୪) ଇଂଲଣ୍ଡର ଜଣେ ଦାର୍ଶନିକ, ବିଜ୍ଞାନୀ ଓ ଧର୍ମଯାଜକ । ସେ ଶିକ୍ଷା ଦେଇଥିଲେ ଯେ ପ୍ରକୃତିର ଗୂଢ଼ତତ୍ତ୍ୱ ଜାଣିବାକୁ ହେଲେ ଆମେ ନିଶ୍ଚୟ ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣ କରିବା । ସେ ଗଣିତରେ ଏବଂ ଅବରୋହୀ ତର୍କଶାସ୍ତ୍ରରେ ବିଶ୍ୱାସ କରୁଥିଲେ । କିନ୍ତୁ ସେ ଦୃଢ଼ଭାବରେ ଉପଲବ୍ଧି କରିଥିଲେ ଯେ ବୈଜ୍ଞାନିକ ସିଦ୍ଧାନ୍ତଗୁଡ଼ିକ ଲକ୍ଷ୍ୟ କରାଯାଇଥିବା ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକ ଉପରେ ପର୍ଯ୍ୟବସିତ ହୋଇଥିବାରୁ ଏବଂ ପରୀକ୍ଷାଦ୍ୱାରା ପ୍ରମାଣିତ ହୋଇଥିବାରୁ ପ୍ରକୃତ ଜ୍ଞାନ ଦେଇପାରିବ ।

ପ୍ରାୟ ସେହି ସମୟରେ ପେଟ୍ରସ୍ ପେରେଗ୍ରିନସ୍ ଜାଣିପାରିଥିଲେ ଯେ ଚୁମ୍ବକର ମେରୁ ଦୁଇ ପ୍ରକାରର, ସମମେରୁ ପରସ୍ପରକୁ ବିକର୍ଷଣ କରେ ଓ ବିଷମମେରୁ ପରସ୍ପରକୁ ଆକର୍ଷଣ କରେ ।

ତା ପରେ ଆସିଲେ ଇଟାଲୀୟ ଲେନାର୍ଡୋ ଡା ଭିନସି (୧୪୫୨—୧୫୧୯) । ସେ ଜଣେ ଚିତ୍ରକର, ସ୍ଥପତି, ଭାସ୍କର, ଯାନ୍ତ୍ରିକ, ଦାର୍ଶନିକ । ବୈଜ୍ଞାନିକ ଭାବରେ ତାଙ୍କର ପ୍ରତିଭା ଥିବାକଥା ଏଇ କେତେବର୍ଷ ହେଲା ଜଣାଗଲା । ତାଙ୍କର କାର୍ଯ୍ୟଗୁଡ଼ିକ ପାଣ୍ଡୁଲିପି

ଆକାରରେ ରହିଯାଇଥିବାରୁ ତାଙ୍କ ସମସାମୟିକ ପଣ୍ଡିତମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରସ୍ଫୁରିତ ହୋଇପାରି ନ ଥିଲା । ବୋଧହୁଏ ଏହି କାରଣରୁ ବିଜ୍ଞାନର ପ୍ରଥମାବସ୍ଥାରେ ତାଙ୍କର ବିଶେଷ ପ୍ରଭାବ ଅନୁଭୂତ ହୋଇ ନ ଥିଲା । ପରୀକ୍ଷା ପ୍ରଣାଳୀର ମୂଲ୍ୟରେ ତାଙ୍କର ବିଶ୍ୱାସ ବିଂଶଶତାବ୍ଦୀର ଏହି ବିଶ୍ୱାସର ସମକକ୍ଷ ହେବ । "ଏହାକୁ ଗୋଟିଏ ସାଧାରଣ ନିୟମ କରିବା ପୂର୍ବରୁ ପରୀକ୍ଷାଦ୍ୱାରା ଦୁଇ ବା ତିନିଥର ଦେଖ, ଏହା ଠିକ୍ ସେହି ଫଳ ଦେଉଛି କି ନା ।" ତାଙ୍କ ସମୟର ଅସ୍ପଷ୍ଟ ଭାଷାରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇଥିଲେ ମଧ୍ୟ ଆମେ ଏବେ ଯାହାକୁ ବଳ ନିଷ୍କ୍ରିୟତା, ତ୍ୱରଣ, ଗତିନିୟମ ପ୍ରଭୃତି କହୁଛୁ; ସେଗୁଡ଼ିକ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ତାଙ୍କର ଧାରଣା ଗୁଣାତ୍ମକ ଭାବରେ ଠିକ୍ ଥିଲା । ଚିରନ୍ତନ ଗତି ସମ୍ବନ୍ଧରେ ସେ କହୁଥିଲେ; "ହେ ଚିରନ୍ତନ ଗତି କଳ୍ପନାକାରୀଗଣ ଏହିଭଳି କେତେ ବୃଥା ଯୋଜନା ସୃଷ୍ଟି କରିଛ ! ଯାଅ, ସେହି ସ୍ୱର୍ଣ୍ଣ ଅନୁସନ୍ଧିତ୍ସୁମାନଙ୍କର ସଙ୍ଗୀ ହୁଅ ।" ଟୋଲେମୀଙ୍କର ମତକୁ ଖଣ୍ଡନ କରି ସେ କହୁଥିଲେ; 'ସୂର୍ଯ୍ୟ ଗତିକରୁ ନାହିଁ' । ଏହାର ଏକ ଶତାବ୍ଦୀ ପରେ ଏପରି ବୈପ୍ଳବିକ ଚିନ୍ତା ଫଳରେ ବିଧର୍ମୀ ବୋଲି ଯେପରି ବ୍ରୁନୋଙ୍କୁ ଜାଳି ଦିଆଯାଇଥିଲା ତାଙ୍କୁ ସେ ସେପରି ଜାଳି ଦିଆଯାଇ ନଥିଲା ବା ଫାଶି ଦିଆଯାଇ ନଥିଲା, ତା'ର କାରଣ ବୋଧହୁଏ ତାଙ୍କର ମତବାଦର ସ୍ୱଳ୍ପ ପ୍ରଚାର । ସେ ଶିକ୍ଷାକ୍ଷେତ୍ରରେ କୌଣସି ଉଚ୍ଚାସନରେ ରହି ନ ଥିବାରୁ ଶିକ୍ଷା ଦେଇପାରି ନଥିଲେ କି କିଛି ଲେଖିପି ନ ଥିଲେ ।

ଶେଷରେ ଷୋଡ଼ଶ ଶତାବ୍ଦୀରେ ବହୁଳ ବୌଦ୍ଧିକ କାର୍ଯ୍ୟକ୍ରମ ଦେଖା ଦେଇଥିଲା । ଏହାକୁ ନବଜାଗରଣ କୁହାଯାଉଥିଲା । ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନରେ ମଧ୍ୟ ଏହାର ପ୍ରଭାବ ପଡ଼ିଥିଲା । ତାପରେ ଏକ୍ଷେତ୍ରରେ କୁପରନିକସ୍, ଟାଇକୋ, କେପଲର୍, ଗାଲିଲିଓ ଏବଂ ନିଉଟନଙ୍କ ପରି ମନୀଷୀମାନେ ଦେଖାଦେଲେ । ଏମାନେ ଏମାନଙ୍କର ସହକର୍ମୀ ଓ ସମସାମୟିକ ପଣ୍ଡିତମାନଙ୍କ ସହିତ ମିଶି ଆରିଷ୍ଟୋଟଲଙ୍କ ସମୟକୁ ବଦଳାଇଦେଲେ; ଆଧୁନିକ ପରୀକ୍ଷା-ମୂଳକ ବିଜ୍ଞାନର ଆରମ୍ଭ ସମ୍ଭବ କଲେ । ସୌରକେନ୍ଦ୍ରିକ ମତବାଦ ବିଶ୍ୱ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଓ ଏଥିରେ ମନୁଷ୍ୟର ଅବସ୍ଥିତି ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଧାରଣାକୁ ଆମୂଳ ପରିବର୍ତ୍ତନ କରିଦେଲା । ବୈଜ୍ଞାନିକ ଚିନ୍ତାଧାରାରେ କୁପରନିକସଙ୍କର କାର୍ଯ୍ୟ ଏକ ନୂତନ ଯୁଗର ସୃଷ୍ଟି କଲା ବୋଲି କହିଲେ ଯଥାର୍ଥ ହେବ । କୁପରନିକସଙ୍କର ଆବିଷ୍କାରର ପରେ ପରେ ଦୂରବୀକ୍ଷଣଯନ୍ତ୍ର କେପଲରଙ୍କର ନିୟମ, ଭୂପତିତ ବସ୍ତୁ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଗାଲିଲିଓଙ୍କର ବିଖ୍ୟାତ ପରୀକ୍ଷା ଏବଂ ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ବହୁ ଆବିଷ୍କାର ସମ୍ଭବ ହୋଇ ନ ଥିଲେ କୁପରନିକସଙ୍କର ମତବାଦ ମଧ୍ୟ

ଏହାର କେତେକ ଶତାବ୍ଦୀ ପୂର୍ବରୁ ଜନ୍ମିଥିବା ଆରିଷ୍ଟୋଟଲଙ୍କର ମତବାଦର ଦଶା ଭୋଗ କରିଆସୁଥିଲା । ତେଣୁ କୁପରନିକସ୍‌ଙ୍କର ମତବାଦର ଜନ୍ମକୁ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନର ଇତିହାସରେ ପ୍ରଥମ ପର୍ଯ୍ୟାୟର ଶେଷ ବୋଲି ବୁଝିବା ଉଚିତ୍ ।

1.11 କୁପରନିକସ୍‌ଙ୍କର ପ୍ରଣାଳୀ

କୁପର୍‌ନିକସ୍ (୧୪୭୩—୧୫୪୩) କଲମ୍ବସଙ୍କଠାରୁ ବୟସରେ ସାନ ଓ ତାଙ୍କର ସମସାମୟିକ । ସେ ତାଙ୍କର ଜୀବନର ଅଧିକାଂଶ ଭିଷ୍ଟୁଲାର ମୁହାଣରେ ଥିବା ଫ୍ରାଏନ୍‌ବର୍ଗ ଧର୍ମପୀଠରେ ସୁପରିଚିତ ସ୍ୱଭେଦ୍ୱତ ଭାବେ କଟାଇଥିଲେ । ତାଙ୍କର ଜୀବନର ଶେଷ ଅବସ୍ଥାରେ ସେ "De Revolutionibus orbium Coelestium" ନାମକ ଖଣ୍ଡିଏ ପୁସ୍ତକ ପ୍ରକାଶ କରିଥିଲେ ଏଥିରେ ତାଙ୍କର ବିଶ୍ୱସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ମତ ପ୍ରକାଶ ପାଇଥିଲା ।

କୁପର୍‌ନିକସ୍ ଉପଲବ୍ଧି କରିଥିଲେ ଯେ ପୃଥିବୀ ଅନ୍ୟମାନଙ୍କ ପରି ଗୋଟିଏ ଗ୍ରହ ଏବଂ ଗ୍ରହସବୁ ସୂର୍ଯ୍ୟ ଚାରିପଟେ ବୃତ୍ତାକାର ପଥରେ ଘୂରୁଛନ୍ତି; ଏପରି ଅନୁମାନ କରିବା ଦ୍ୱାରା ଦାର୍ଶନିକ ଓ ଗାଣିତିକ ଉଭୟ କ୍ଷେତ୍ରରେ କଥାଟା ଉତ୍ତମରୂପେ ସରଳ ହୋଇ-ଯାଉଅଛି । ସେ ଏହାଦ୍ୱାରା ଋତୁ ପରିବର୍ତ୍ତନ, ପ୍ରତୀୟମାନ ହେଉଥିବା ଗ୍ରହମାନଙ୍କର ସାମୟିକ ପଶ୍ଚାଦ୍‌ଗତି ସମ୍ବନ୍ଧରେ ବୁଝାଇ ଦେଇ ପାରିଥିଲେ । ପୃଥିବୀର ନିଜ ଅକ୍ଷ ଚାରିପଟେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ (ଦୈନିକ ଗତି) ସୂର୍ଯ୍ୟ, ଚନ୍ଦ୍ର ଓ ତାରାମାନଙ୍କର ଜଣାପଡ଼ୁଥିବା ଗତିର କାରଣ । ସେ ଦେଖାଇଲେ ଯେ ତାରାମାନେ ବହୁଦୂରରେ ଥିବାରୁ ପୃଥିବୀର ଗତି ସମ୍ଭବତଃ ସେମାନଙ୍କର ଦୃଶ୍ୟମାନ ଅବସ୍ଥାନରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ଘଟାଇ ପାରୁନାହିଁ । ସୂର୍ଯ୍ୟଠାରୁ ବାହାରଆଡ଼କୁ ଗ୍ରହମାନଙ୍କର ଅବସ୍ଥାନର ଠିକ୍ କ୍ରମ ସେ ଦେଇଥିଲେ ।

କୁପର୍‌ନିକସ ଦେଇଥିବା ଏହି ପ୍ରଣାଳୀରେ ପରିମାଣାତ୍ମକ ଭାବେ କିଛି ତ୍ରୁଟି ଥିଲେ ବି ଗୁଣାତ୍ମକଭାବେ ଏହା ଠିକ୍ ଥିଲା । ଏହାର ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତତା କେତେକ ଲୋକଙ୍କ ଚିନ୍ତା ଜଗତକୁ ଟାଣି ନେଇଥିଲା ଏବଂ ବିଜ୍ଞାନର ଏକ ନୂତନ ଯୁଗରେ ସମସ୍ତଙ୍କୁ ବାଟ କଢ଼େଇ ନେଇଥିଲା । ୨୦୦୦ ବର୍ଷ ଶାସ୍ତ୍ରର ପ୍ରଭାବରୁ ମୁକ୍ତ ହୋଇ ଯେତେବେଳେ ସତ୍ୟ କାହାରି ବାଧା ବା ସାହାଯ୍ୟ ବିନା ଆପେ ଆପେ ପ୍ରତିଷ୍ଠିତ ହେବାର ସୁଯୋଗ ପାଇଲା; ସେତେବେଳେ ଏହି ନୂତନ ଯୁଗ ଆସିଗଲା ।

ଦ୍ୱିତୀୟ ପର୍ଯ୍ୟାୟ (୧୫୫୦—୧୮୦୦ ମସିହା) ପରୀକ୍ଷା-ମୂଳକ ପ୍ରଣାଳୀର ଅଭ୍ୟୁଦୟ

1.12. ଗାଲିଲିଓ ଗାଲିଲି (୧୫୬୪—୧୬୪୨)

ଗାଲିଲିଓ ପରୀକ୍ଷାମୂଳକ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନର ଜନକଭାବରେ ସର୍ବତ୍ର ପରିଚିତ । ନିଶ୍ଚିତଭାବରେ କହିଲେ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନର ପିତାମହ ଓ ତାଙ୍କର ପୂର୍ବପୁରୁଷମାନେ ମଧ୍ୟ ଅଛନ୍ତି । କିନ୍ତୁ ବୈଜ୍ଞାନିକ ଚିନ୍ତାଧାରାକୁ କେହି ଗାଲିଲିଓଙ୍କଠାରୁ ଅଧିକ ଦାନ ଦେଇ ନାହାନ୍ତି । ଗାଲିଲିଓ ଗୋଟିଏ ସମ୍ଭ୍ରାନ୍ତ ପରିବାରରେ ଜନ୍ମ ଗ୍ରହଣ କରିଥିଲେ । ସ୍ୱାଧୀନ-ଚିନ୍ତା ହିଁ ଗାଲିଲିଓଙ୍କ ଜୀବନର ବିଶେଷ ଗୁଣ ଥିଲା । ସମ୍ଭବତଃ ତାଙ୍କର ପିତାଙ୍କଠାରୁ ସେ ଏହି ଗୁଣ ଉତ୍ତରାଧିକାର ସୂତ୍ରରେ ପାଇଥିଲେ । କାରଣ, ତାଙ୍କର ସୁଶିକ୍ଷିତ ଓ ଦକ୍ଷ ସଙ୍ଗୀତଜ୍ଞ ପିତା ଥରେ ଲେଖିଥିଲେ, "ମୋର ମନେ ହେଉଛି, ଯେ ତାଙ୍କର ମତ କେବଳ ଶାସ୍ତ୍ରରୁ ଉଦ୍ଧାର କରି ପ୍ରମାଣ କରନ୍ତି, ତାଙ୍କର ମତର ସପକ୍ଷରେ କୌଣସି ଯୁକ୍ତି ଦେଖାନ୍ତି ନାହିଁ; ସେ ବଡ଼ ନିର୍ବୋଧ କାର୍ଯ୍ୟ କରନ୍ତି ।"

ଫ୍ଲୋରେନ୍‌ସ ନିକଟରେ ଭାଲାମ୍ବ୍ରସା ଧର୍ମପୀଠରେ ଛାତ୍ର ଥିବାବେଳେ ଗାଲିଲିଓ ପ୍ରାଚୀନ ଓ ତତ୍କାଳୀନ ସାହିତ୍ୟରେ ନିଜର ପ୍ରତିଭାର ପରିଚୟ ଦେଇଥିଲେ । ସେ କବି, ସଙ୍ଗୀତଜ୍ଞ ଓ କଳା ସମାଲୋଚକ ବୋଲି ମନେ ହେଉଥିଲା । ତାଙ୍କର ପ୍ରାକୃତିକ ବିଜ୍ଞାନ ପ୍ରତି ମଧ୍ୟ ଆଦର ଥିଲା ଏବଂ ସେ ଅନେକ ଯାନ୍ତ୍ରିକ ଉଦ୍ଭାବନ ଦ୍ୱାରା ଏହି ଗୁଣ ପ୍ରକାଶ କରିଥିଲେ । ସତରବର୍ଷ ବୟସରେ ପିସା ବିଶ୍ୱବିଦ୍ୟାଳୟରେ ଡାକ୍ତରୀ ବିଦ୍ୟା ପଢ଼ିବାପାଇଁ ତାଙ୍କୁ ପଠାଯାଇଥିଲା । ଏହିଠାରେ ହିଁ ସେ ତାଙ୍କର ପ୍ରଥମ ଆବିଷ୍କାର ଓ ଉଦ୍ଭାବନ ସବୁ କରିଥିଲେ । ୧୫୮୧ ମସିହାରେ ଦିନେ ପିସାସ୍ଥ ଗୀର୍ଜାରେ ବିଶାଳ ଝୁଲା ଆଲୋକଟିର ନିୟମିତ ଦୋଳନ ସେ ଲକ୍ଷ୍ୟ କରିଥିଲେ । ସେ ନିଜର ନାଡ଼ିର ସ୍ପନ୍ଦନକୁ ଘଡ଼ି ସ୍ଥିର କଲେ ଯେ ଦୋଳନ ସମୟରେ ବିସ୍ତାର କମି କମି ଯାଉଥିଲେ ମଧ୍ୟ ଦୋଳନ କାଳରେ କୌଣସି ପରିବର୍ତ୍ତନ ହେଉ ନାହିଁ । ଏହି ଘଟଣାଟିକୁ ଓଲଟାଇ ଦେଇ ସେ 'ନାଡ଼ି ମାପ ଯନ୍ତ୍ର ତିଆରି କରିଥିଲେ । ଗୋଟିଏ ବଲ୍ ଓ ଖଣ୍ଡିଏ ତାର ଦ୍ୱାରା ଏହି ଯନ୍ତ୍ର ତିଆରି ହୋଇଥିଲା । ଏହାକୁ ସରଳ ଦୋଳକ କୁହାଯାଏ । ଏହି ଦୋଳକର ଦୈର୍ଘ୍ୟକୁ ପରିବର୍ତ୍ତନ କରି ନାଡ଼ିର ସ୍ପନ୍ଦନ ସହିତ ସମତାନରେ ଦୋଳନ କରାଇଲେ ନାଡ଼ିର ଆବୃତ୍ତି ଜଣାଯାଉଥିଲା ।

କିନ୍ତୁ ଗଣିତ ଓ ବିଜ୍ଞାନ ପ୍ରତି ତାଙ୍କର ଥିବା ଅତ୍ୟାଗ୍ରହ ତାଙ୍କର ଜୀବନର ସୁଖ-ସୁବିଧାଠାରୁ ବଳବତ୍ତର ହେଲା । ଛବିଶ ବର୍ଷ ବୟସରେ ଗାଲିଲିଓ ପିସାଠାରେ ଗଣିତର ପ୍ରଫେସର ହେଲେ । ଏଠାରେ ସେ ଆରିଷ୍ଟୋଟଲଙ୍କ ଗାଣିତିକ ମତଗୁଡ଼ିକ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଶୃଙ୍ଖଳିତ ଭାବରେ ଗବେଷଣା ଆରମ୍ଭ କଲେ । ଆରିଷ୍ଟୋଟଲଙ୍କ ଅନେକ ମତ ଭୁଲ ବୋଲି ସେ ଅତି ଶୀଘ୍ର ପ୍ରତିପାଦନ କରି ପାରିଥିଲେ । ସାଧାରଣ ଭାବରେ କଥିତ ଥିଲା ଯେ ଆରିଷ୍ଟୋଟଲ ଶିକ୍ଷା ଦେଇଥିଲେ ଗୋଟିଏ ଓଜନିଆ ଜିନିଷ ଗୋଟିଏ ହାଲୁକା ଜିନିଷ ଅପେକ୍ଷା ଅଧିକ ବେଗରେ ତଳକୁ ଖସିପଡ଼େ । ପ୍ରକୃତ ପରୀକ୍ଷା କରି ଅନେକ ଲେଖକ ଏହି ମତର ସତ୍ୟତା ସମ୍ବନ୍ଧରେ ସନ୍ଦେହ ପ୍ରକାଶ କରିଛନ୍ତି; ଯଥା—ଷଷ୍ଠ ଶତାବ୍ଦୀର ଫିଲପାଇନସ୍ ଓ ଗାଲିଲିଓଙ୍କ ପର ପୂରୁଷର ଲୋକ ବେନେଡେଟୋ ଭାରଚି । ହେଲେ ବି ଆରିଷ୍ଟୋଟଲଙ୍କ ମତକୁ ନିର୍ଭୁଲ ବୋଲି ଏହାପରେ ବାଧ୍ୟ ସ୍ୱୀକାର କରାଯାଉଥିଲା । ଏହା ପରୀକ୍ଷା କରିବା ପାଇଁ, ଲୋକେ କହନ୍ତି, ଗାଲିଲିଓ ପିସାର ଢଳିକ ଅଟ୍ଟାଳିକା ଉପରୁ ବିଭିନ୍ନ ଓଜନର ଜିନିଷ ପକାଇ ତାଙ୍କର ବିଖ୍ୟାତ ପରୀକ୍ଷା କରିଥିଲେ ଏବଂ ଏହି ଜିନିଷ-ଗୁଡ଼ିକ ମୋଟାମୋଟି ସମାନ ବେଗରେ ପଡ଼ିଥିଲା । ଏହି ପରୀକ୍ଷା ସମ୍ବନ୍ଧରେ ବିଶେଷ କିଛି ଆମକୁ ଜଣାନାହିଁ; କିନ୍ତୁ ଏ କଥା ସତ୍ୟ ଯେ ଆରିଷ୍ଟୋଟଲଙ୍କର ଭୁଲ ଗାଲିଲିଓ ପ୍ରକାଶ କରିଥିଲେ ।

ଏହାପରେ ଗାଲିଲିଓ ଦୋଷୀ ସାବ୍ୟସ୍ତ ହୋଇ ପିସାରୁ ବହିଷ୍କୃତ ହୋଇଥିଲେ । ୧୫୯୨ ରେ ସେ ପଦୁଆ ବିଶ୍ୱବିଦ୍ୟାଳୟରେ ଗଣିତ ପ୍ରଫେସର ହେଲେ । ଏହି ପଦରେ ସେ ୧୮ ବର୍ଷ ରହିଥିଲେ । ଏଠାରେ ସେ ଶିକ୍ଷାଦାନରେ ଓ ଚିନ୍ତାରେ ଅଧିକ ସ୍ୱାଧୀନତା ପାଇଥିଲେ । ଶିକ୍ଷକ ଭାବରେ ତାଙ୍କର ଖ୍ୟାତି ସାରା ୟୁରୋପରେ ବ୍ୟାପି ଯାଇଥିଲା ଏବଂ ତାଙ୍କ ବକ୍ତୃତା ଶୁଣିବା ପାଇଁ ବହୁ ଜନ ସମାଗମ ହେଉଥିଲା ।

୧୬୦୮ ମସିହାରେ ଲିପର୍ସେ ନାମକ ଜଣେ ଓଲନ୍ଦାଜ ଚଷମା ଦୋକାନୀ ଗୋଟିଏ ନଳର ଦୁଇପାଖେ ଦୁଇଟି ଚଷମା କାଚ ଲଗାଇ "ଦୂର ଜିନିଷକୁ ଓଲଟାଭାବେ ପାଖରେ ଦେଖାଇବାକୁ" ସମର୍ଥ ହୋଇଥିଲେ । ତାଙ୍କର ଜଣେ କର୍ମଚାରୀ ଆକସ୍ମିକଭାବେ ଏହିପରି ଦେଖିଥିବା ଫଳରେ ଲିପର୍ସେଙ୍କର ଉକ୍ତ କାର୍ଯ୍ୟ ସମ୍ଭବ ହୋଇଥିଲା । ଏହି ଉଦ୍ଭାବନ କଥା ଗାଲିଲିଓଙ୍କ ପାଖରେ ୧୬୦୯ ମସିହା ଜୁନ୍ ମାସରେ ପହଞ୍ଚିଥିଲା । ଏଥିରେ

ଥିବା ମାତ୍ରକୁ ଦୃଷ୍ଟିପାତ କରି ସେ ଦୂରବୀକ୍ଷଣ ଯନ୍ତ୍ର ତିଆରି କରିଥିଲେ ଓ ଭେନିସ୍‌ରେ "ଗଣତନ୍ତ୍ରର ମୁଖ୍ୟମାନଙ୍କୁ ଏକମାସରୁ ଅଧିକ କାଳ ଦେଖାଇ ଆଶ୍ଚର୍ଯ୍ୟାନ୍ୱିତ କରି ଦେଇଥିଲେ ।" ୧୬୧୦ ଜାନୁଆରୀ ବେଳକୁ ଗାଲିଲିଓ * ୩୦ଗୁଣ ବର୍ଦ୍ଧିତ କରୁଥିବା ଲେନ୍ସବିଶିଷ୍ଟ ଦୂରବୀକ୍ଷଣ ଯନ୍ତ୍ର ତିଆରି କରି ପାରିଥିଲେ । ଏହା ସାହାଯ୍ୟରେ ସେ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ମୌଳିକ ଆବିଷ୍କାର କରିଥିଲେ । ସେ ଦେଖିଲେ ଯେ ସ୍ଥିର ତାରକାମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ଖାଲି ଆଖିକୁ ଦେଖାଯାଉଥିବା ସଂଖ୍ୟାଠାରୁ ବହୁତ ବେଶୀ; ତେଣୁ ସେ ଯୁଗଯୁଗ ଧରି ଛାୟାପଥ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଥିବା ପ୍ରହେଳିକାର ସମାଧାନ ଦେଲେ । ସେ ଦେଖିଲେ ଯେ ଗ୍ରହଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରାୟ ପାଖାପାଖି ଦେଖାଯାଉଛନ୍ତି; କିନ୍ତୁ ତାରାଗୁଡ଼ିକ ପୂର୍ବପରି ଆଲୋକବିନ୍ଦୁ ପରି ଦିଶୁଛନ୍ତି । ବୃହସ୍ପତିଙ୍କର ଉପଗ୍ରହ ସେ ଆବିଷ୍କାର କରିଥିଲେ । ଏହି ଆବିଷ୍କାରଗୁଡ଼ିକ ଗାଲିଲିଓଙ୍କୁ ବିଖ୍ୟାତ କରିଥିଲା । ସେ ଅତଏବ "ପ୍ରଥମ ଗାଣିତିକ ଓ ଦାର୍ଶନିକ" ଭାବରେ ବହୁ ଅଧିକ ବେତନ ପାଇ ପିସାକୁ ନିମନ୍ତ୍ରିତ ହୋଇ ଆସିଲେ । ମାତ୍ର ଏହାଦ୍ୱାରା ସେ ପଡୁଆରେ ପାଉଥିବା ସାଂସ୍କୃତିକ ସ୍ୱାଧୀନତା ହରାଇଥିଲେ । ଜ୍ୟୋତିଷଶାସ୍ତ୍ର ଗବେଷଣା ଚଳାଇ ସେ ଶୁକ୍ରଗ୍ରହର କଳା, ସୂର୍ଯ୍ୟର କଳଙ୍କ ଓ ସୂର୍ଯ୍ୟର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ, ସୌରମଣ୍ଡଳରେ ଅତଷ୍ଠ, ଚନ୍ଦ୍ରର ଦର୍ଶନସ୍ଥିତି ଆବିଷ୍କାର କରିଥିଲେ । ୧୬୧୨ ମସିହାରେ ସେ ତାଙ୍କର "ଭାସମାନ ବସ୍ତୁର ଆଲୋଚନା" ପ୍ରକାଶ କରିଥିଲେ ।

ପ୍ରଥମରୁ ମନେ ହେଲା ଯେ ତାଙ୍କର ଖ୍ୟାତି ଚର୍ଚ୍ଚର ସମସ୍ତ ବାଧାକୁ ପ୍ରତିରୋଧ କରି ଦେଇଛି; କିନ୍ତୁ ତାଙ୍କର ଆବିଷ୍କାର ଘୃଣିତ କୁପରନିକସ୍ ମତବାଦକୁ ସମର୍ଥନ କରିବାରୁ ଏବଂ ସେ ବାରମ୍ବାର ଆରିଷ୍ଟୋଟଲ୍‌ଙ୍କ ଦର୍ଶନର ବିରୋଧ କରିବାରୁ ତାଙ୍କର ଶତ୍ରୁମାନେ କ୍ରୋଧାନ୍ଧ ହୋଇଗଲେ । ଫଳତଃ ୧୬୧୫ ରେ ପୋପ୍‌ଙ୍କ ପାଖକୁ ଡକା ହୋଇଗଲେ ଏବଂ ମୃତ୍ୟୁଦଣ୍ଡ ଅତ୍ୟାଚାରର ଭୟ ଦେଖାଇ ତାଙ୍କର ଶତ୍ରୁମାନେ" ଉପଦେଶ କଲେ ସୂର୍ଯ୍ୟ ଜଗତର କେନ୍ଦ୍ରରେ ସ୍ଥିର ଅଛି ବୋଲି ଦେଇଥିବା ମତ ଗାଲିଲିଓ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ପ୍ରତ୍ୟାହାର କରିନେଲେ ।

---

* ଗାଲିଲିଓଙ୍କର ଦୂରବୀକ୍ଷଣ ଯନ୍ତ୍ର ଆଜିକାଲିର ଅପେରାକାଚ ସଙ୍ଗେ ସମାନ । ଗୋଟିଏ ଦ୍ୱିଉତ୍ତଳ ଯବକାଚ (ବା ସମଉତ୍ତଳ ଯବକାଚ)ର ଅଭିଦୃଶ୍ୟକ ଗୋଟିଏ ଦ୍ୱି ଅବତଳ ଯବକାଚର ନେତ୍ରିକ । ତେଣୁ, ସେମାନେ ଗୋଟିଏ ସିଧା ପ୍ରତିବିମ୍ବ ପାଉଥିଲେ ।

ସେ କେବେହେଲେ ଏହି ମତପୋଷଣ କରିବେନାହିଁ, ଶିକ୍ଷାଦେବେ ନାହିଁ ବା କୌଣସି ବାଟେ ଏହି ଧାରଣାକୁ ରକ୍ଷା କରିବାର ଚେଷ୍ଟା କରିବେ ନାହିଁ ବୋଲି ପ୍ରତିଶ୍ରୁତି ଦେଲେ ।" ଏଥି ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ରାୟ ହେଲା ଯେ କୁପରନିକସ୍‌ଙ୍କର କାର୍ଯ୍ୟକୁ "ଏହା ସଂଶୋଧିତ ହେବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ରହିତ ହେଲା ।" ଗାଲିଲିଓ ଏହି ରାୟକୁ ନୀରବରେ ସ୍ୱୀକାର କରିଥିଲେ ଏବଂ ପିସାକୁ ଫେରିଯିବାପାଇଁ ଅନୁମତି ପାଇଥିଲେ । ପିସାରେ ସେ ତାଙ୍କର ଗବେଷଣା ଚଳାଇଥିଲେ ।

୧୬୨୩ ମସିହାରେ ଗାଲିଲିଓଙ୍କର ଜନୈକ ବନ୍ଧୁ, ବାର୍ବେରିନି, ୮ମ ପୋପ୍ ଅର୍ବାନ୍ ହେଲେ । ତାଙ୍କଠାରୁ ଗାଲିଲିଓ ପ୍ରତିଶ୍ରୁତି ପାଇଲେ ଯେ ସେ 'ଚର୍ଚ୍ଚର ଶୁଭଦୃଷ୍ଟି ପାଇବେ ।' ତାପରେ ସେ ତାଙ୍କର ବିଖ୍ୟାତ ପୁସ୍ତକ 'ଟୋଲେମି ଓ କୁପରନିକସ୍ ପ୍ରଣାଳୀ ମଧ୍ୟରେ କଥୋପକଥନ" ଲେଖା ଆରମ୍ଭ କରିଥିଲେ । ଏହା ୧୬୩୨ ମସିହାରେ ବିଚାରକଙ୍କର ଆନୁଷ୍ଠାନିକ ଅନୁମତି ପାଇ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇଥିଲା । ଏହି କଥୋପକଥନ ବଡ଼ ଚତୁରତାର ସହିତ, ୧୬୧୬ ମସିହାର ରାୟ ସଙ୍ଗେ ଆକ୍ଷରିକଭାବେ ଖାପଖାଇଲା ପରି ଲେଖା ହୋଇଥିଲା । ତିନୋଟି ଅଧ୍ୟାୟରେ ଆଲୋଚନା ଦିଆଯାଇଥିଲା; ସାଲ୍‌ଭିଏଟି ଜଣେ କୁପରନିକସ ମତବାଦୀ, ସିମ୍ପ୍ଲିସିଓ ଜଣେ ଆରିଷ୍ଟୋଟଲ ମତବାଦୀ ଏବଂ ସାଗ୍ରେଡୋ ଜଣେ ଚତୁର ନିରପେକ୍ଷ ତୃତୀୟ ଚରିତ୍ର ମଧ୍ୟସ୍ଥ । ସ୍ୱର "ଦିନ"ର କଥୋପକଥନ ପ୍ରତିପ୍ରଣାଳୀର ସପକ୍ଷରେ ଓ ବିପକ୍ଷରେ ଯୁକ୍ତି ଦେଇ ନିରପେକ୍ଷ ଭାବରେ ସ୍ୱଳ୍ପପରି ମନେ ହେଲା ଏବଂ କୌଣସି ପ୍ରକାଶିତ ସିଦ୍ଧାନ୍ତରେ ଉପନୀତ ହେଲନାହିଁ । ହେଲେବି; ଏହି ପୁସ୍ତକର ସାଧାରଣ ଫଳାଫଳ ହେଲା—କୁପରନିକସ୍‌ଙ୍କର ମତବାଦ ସପକ୍ଷରେ ଏକ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ଯୁକ୍ତି ।

ଶତ୍ରୁମାନଙ୍କର ଷଡ଼ଯନ୍ତ୍ର ଫଳରେ ଗାଲିଲିଓ କୋର୍ଟ ବିଚାରର ସମ୍ମୁଖୀନ ହେଲେ । ସେତେବେଳକୁ ସେ ୬୮ବର୍ଷର ବୃଦ୍ଧ: ସ୍ୱାସ୍ଥ୍ୟ ଓ ମନ ଭାଙ୍ଗି ପଡ଼ୁଥାଏ । ବାଧ୍ୟକୁ ନତଜାନୁ ହୋଇ ସେ ତାଙ୍କର 'ସ୍ୱାଧୀନ ଏବଂ ସ୍ୱେଚ୍ଛାକୃତ ଭାବେ" ତାଙ୍କର "ଅପଧର୍ମ, ଭୁଲ ଏବଂ ପବିତ୍ର ଚର୍ଚ୍ଚ ମତର ବିରୁଦ୍ଧାଚରଣ କରୁଥିବା ପ୍ରତ୍ୟେକ ଭୁଲ ଓ ମତବାଦକୁ ଶପଥପୂର୍ବକ ପରିତ୍ୟାଗ କଲେ; ନିନ୍ଦା କଲେ ।" ସେ ପ୍ରତିଶ୍ରୁତି ଦେଲେ ଯେ ଭବିଷ୍ୟତରେ ସନ୍ଦେହ ଜାତ କରୁଥିବା କୌଣସି ମତ ସେ ମୌଖିକଭାବରେ ବା ଲିଖିତଆକାରରେ କେବେ

ହେଲେ ପ୍ରକାଶ କରିବେ ନାହିଁ ।" ତାପରେ ଦଣ୍ଡାଦେଶ ଘୋଷଣା କରାଯାଇ ଗାଲିଲିଓଙ୍କୁ ବନ୍ଦୀଭାବରେ ରଖାଗଲା । ପ୍ରଥମେ ରୋମରେ, ପରେ ତାଙ୍କର ଘର ଅସେଟ୍ରିରେ । ଏଠାରେ ତାଙ୍କର ଜୀବନର ଶେଷ କେତେକ ବର୍ଷ ମଧ୍ୟରେ ସେ ତାଙ୍କର "ଦୁଇ ନୂତନ ବିଜ୍ଞାନ (ଅର୍ଥାତ୍ ସଂଯୋଜନ ଓ ଗତି) ମଧ୍ୟରେ କଥୋପକଥନ" ପୁସ୍ତକଟି ଲେଖିଥିଲେ ଏବଂ ଏହା ୧୬୩୭ ମସିହାରେ ପ୍ରକାଶ ପାଇଥିଲା ।

"ଗତି ସମ୍ବନ୍ଧରେ କଥୋପକଥନ ଗାଲିଲିଓଙ୍କର ପୂର୍ବ ପରୀକ୍ଷାଗୁଡ଼ିକ ଏକତ୍ରିତ କରିଥିଲା ଏବଂ ଏଥିରେ ତାଙ୍କର ଅଧିକ ପୁରୁଣା ଭାବର ଅଭିବ୍ୟକ୍ତ ହୋଇଥିଲା । ସେ କହିଛନ୍ତି ଯେ "ଯଦି ମାଧ୍ୟମର ବାଧା ଦୂର କରାଯାଏ, ପ୍ରତ୍ୟେକ ବସ୍ତୁ ସମବେଗରେ ତଳକୁ ଖସି ପଡ଼ିବେ ।" ସେ ସମତ୍ୱରଣଯୁକ୍ତ ଗତି ପାଇଁ ସୂତ୍ର ବାହାର କରିଥିଲେ । ଗୋଟିଏ ପ୍ରକ୍ଷେପ୍ୟର ଗତିପଥ ପ୍ରଯୋଜନୀୟ ଅନୁମାବସ୍ଥାରେ ପାରାବୋଲାକାରର । ସେ କହିଥିଲେ ଯେ ଯଦି ସମସ୍ତ ବାଧା ଦୂର କରିଦିଆଯାଏ, ଗୋଟିଏ ଆନୁଭୂମିକ ସମତଳ ଉପରେ ଗତି କରୁଥିବା ଯେକୌଣସି ଜିନିଷ ଚିରକାଳ ଗତି କରୁଥିବ । ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ତାଙ୍କର କାର୍ଯ୍ୟ ନିଉଟନଙ୍କର ଗତିସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ତିନୋଟି ବିଖ୍ୟାତ ନିୟମ ଗଠନ କରିବାର ପଥ ପରିଷ୍କାର କରି ଦେଇଥିଲା ।

1·13 ଟାଇକୋ ବ୍ରାହେ (୧୫୪୬—୧୬୦୧) ଏବଂ କେପ୍ଲର୍ (୧୫୭୧—୧୬୩୦) :

କେବଳ ଯେ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନବସ୍ତୁ ଉପରେ ପ୍ରତ୍ୟକ୍ଷ ଭାବରେ ପ୍ରଭାବ ପକାଇଛି ବୋଲି ଟାଇକୋ ଓ କେପ୍ଲରଙ୍କ କାର୍ଯ୍ୟ ଗୁରୁତ୍ୱପୂର୍ଣ୍ଣ ହେଉଛି ତା ନୁହେଁ; ଆଜିକାଲି ବିଜ୍ଞାନରେ ଯେପରି ବିଭିନ୍ନ ଲୋକଙ୍କର କାର୍ଯ୍ୟ ପରସ୍ପର ନିର୍ଭରଶୀଳ ହେଉଛି, ସେ ଦୁହିଁଙ୍କର କାର୍ଯ୍ୟ ସେହିପରି ନିର୍ଭରଶୀଳ ହୋଇଥିଲା । ଟାଇକୋ ପରୀକ୍ଷାମୂଳକ କାର୍ଯ୍ୟ କରି ନିର୍ଭୁଲ ତାଲିକା ଯୋଗାଇ ଦେଇଥିଲେ, କେପ୍ଲର ସେଥିରୁ ଗ୍ରହମାନଙ୍କର ଗତି ସମ୍ବନ୍ଧରେ ନୂତନ ତତ୍ତ୍ୱ ଗଢ଼ିଥିଲେ । ଜଣେ କେପ୍ଲରଙ୍କ ବିନା ଟାଇକୋଙ୍କର ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣ ସବୁ ସମସାମୟିକ ଜଗତର ଦୃଷ୍ଟି ମାତ୍ର ଆକର୍ଷଣ କରି ପାରିଥାନ୍ତା । ଟାଇକୋ ନିର୍ଭୁଲ ତାଲିକା ବିନା କେପ୍ଲର ହୁଏ ତ ତାଙ୍କର ତତ୍ତ୍ୱସବୁ ଆବିଷ୍କାର କରି ହୃଦୟରେ ଶାନ୍ତି ପାଇଥାନ୍ତେ; କିନ୍ତୁ

ସେ ତତ୍ତ୍ୱସବୁ ଶେଷରେ ଆରିଷ୍ଟୋଟଲଙ୍କ ତତ୍ତ୍ୱଗୁଡ଼ିକର ଦଶା ଭୋଗିଥାନ୍ତା । କେତେବେଳେ ତତ୍ତ୍ୱ ବା କେତେବେଳେ ପରୀକ୍ଷା ଆଗେଇଯାଏ; କିନ୍ତୁ କେହି ଅପରର ବିନା ସାହାଯ୍ୟରେ ଅଧିକ ଦୂର ଗତି କରିପାରେନାହିଁ ।

ଟାଇକୋ ବ୍ରାହେ ସ୍ୱିଡ଼େନ୍‌ରେ ଗୋଟିଏ ସଂଭ୍ରାନ୍ତ ପରିବାରରେ ଜନ୍ମ ହୋଇଥିଲେ । ସେ ଶାସନ ପରିଚାଳକ ଭାବେ ଜୀବନ କଟାଇବାପାଇଁ ଶିକ୍ଷା ପାଇଥିଲେ । ସେ ନିଜର ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣ ଦ୍ୱାରା ଜାଣି ପାରିଥିଲେ ଯେ ତାତ୍କାଳୀନ ଜ୍ୟୋତିଷ ତାଲିକା ସବୁ ଭୁଲ ଅଛି । ୧୫୭୫ରେ ଡେନ୍‌ମାର୍କର ରାଜା ଦ୍ୱିତୀୟ ଫ୍ରେଡ଼୍‌ରିକ ତାଙ୍କୁ ସ୍ୱୃରାନବର୍ଗର ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣାଗାରର ପୁରୋଧାଭାବେ ନିଯୁକ୍ତ କରିଥିଲେ । ରାଜପରିବାରର ଜ୍ୟୋତିଷ ଗଣନା କରିବା ତାଙ୍କର ଗୋଟିଏ କର୍ତ୍ତବ୍ୟ ଥିଲା । ଏଠାରେ ସେ ୨୦ବର୍ଷ କଟାଇଥିଲେ । ଗ୍ରହମାନଙ୍କର ଗତି ସେ ଶୃଙ୍ଖଳିତଭାବେ ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣ କରିଥିଲେ, ତାରକାମାନଙ୍କର ଗୋଟିଏ ତାଲିକା ପ୍ରସ୍ତୁତ କରିଥିଲେ, ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ବହୁ ଜ୍ୟୋତିଷ ଗଣନା ମଧ୍ୟ କରିଥିଲେ । ଦୂରବୀକ୍ଷଣ ଯନ୍ତ୍ରର ସାହାଯ୍ୟ ବିନା ଯେତେ ନିର୍ଭୁଲଭାବେ ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣ ଓ ଗଣନା କରାଯାଇପାରେ, ସେ ସେଥିରେ ତ୍ରୁଟି କରି ନଥିଲେ । ୧୫୯୯ରେ ଜର୍ମାନର ସମ୍ରାଟ୍ ଦ୍ୱିତୀୟ ରୁଡ଼ଲ୍‌ଫ ପାଇଁ ପ୍ରେଗ୍‌ଠାରେ ଗୋଟିଏ ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣାଗାର ସ୍ଥାପନ କରିବାର ଭାର ସେ ନେଇଥିଲେ । ଏହି କାର୍ଯ୍ୟ ଚାଲିଥିବା ଅବସ୍ଥାରେ ହଠାତ୍ ତାଙ୍କର ମୃତ୍ୟୁ ଘଟିଥିଲା ।

ପ୍ରେଗ୍‌ଠାରେ ଟାଇକୋବ୍ରାହେଙ୍କ ସହକର୍ମୀମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଜଣେ ବିଚକ୍ଷଣ ଯୁବକ ଗଣିତଜ୍ଞ ଥିଲେ । ତାଙ୍କର ନାମ ଜୋହାନ୍ କେପ୍‌ଲର । ସେ ଟାଇକୋଙ୍କର ଉତ୍ତରାଧିକାରୀ-ରୂପେ ସମ୍ରାଟଙ୍କର ପ୍ରଧାନ ଗଣିତଜ୍ଞ ହେଲେ ଏବଂ ଟାଇକୋଙ୍କର ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରସ୍ତୁତ ହୋଇଥିବା ନୂତନ ଜ୍ୟୋତିଷ ତାଲିକାଗୁଡ଼ିକୁ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ କରିବାରେ ଲାଗି ପଡ଼ିଲେ । କେପଲର୍ ପ୍ରେଗଠାରେ ୧୬୧୨ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ରହିଥିଲେ; ତାପରେ ତାଙ୍କର ୧୬୩୦ରେ ମୃତ୍ୟୁ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ସେ ଲିଞ୍ଜରେ ପ୍ରଫେସର ହୋଇଥିଲେ ।

ଟାଇକୋ ବ୍ରାହେ କୋପରନିକସ୍‌ଙ୍କର ମତବାଦକୁ ପ୍ରତ୍ୟାହାର କରି ନିଜର ଏକ ଭୂକେନ୍ଦ୍ରିକ ମତବାଦ ଦେଇଥିଲେ । ବିଜ୍ଞାନର ଏହା ଏକ ପରିହାସ ଯେ ତାଙ୍କର ନିଜର ପରୀକ୍ଷାଦ୍ୱାରା ନିଜ ମତବାଦର ଗ୍ରହମାନଙ୍କର ଗତି ବୁଝାଇବା ପାଇଁ ସେ ଯେଉଁ ତାଲିକା

ପ୍ରସ୍ତୁତ କରିଥିଲେ, ତାହା କେପ୍‌ଲରଙ୍କ ହାତରେ କୁପରନିକ୍‌ସଙ୍କ ପ୍ରଣାଳୀ ସପକ୍ଷରେ ଅକାଟ୍ୟ ଯୁକ୍ତି ଦର୍ଶାଇଥିଲା । ଟାଇକୋ ବ୍ରାହେଙ୍କ ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣର ସାହାଯ୍ୟନେଇ କେପଲର ମଙ୍ଗଳଗ୍ରହର ଗତି ସମ୍ବନ୍ଧରେ ବିଶେଷ ଭାବରେ ଅନୁସନ୍ଧାନ କଲେ । ପୃଥିବୀ ଓ ମଙ୍ଗଳ ଗ୍ରହପାଇଁ ବୃତ୍ତାକାର ପଥ ଅନୁମାନ କରି ମଙ୍ଗଳଗ୍ରହ ଦେଖାଯାଉଥିବା ବିଭିନ୍ନ ଅବସ୍ଥାନ ସେ ବୁଝାଇବାକୁ ଚେଷ୍ଟା କଲେ । ଏଥିପାଇଁ ସେ ସୂର୍ଯ୍ୟଠାରୁ ଏ ଦୁଇ କକ୍ଷର ବିଭିନ୍ନ ଅବସ୍ଥାନ ନେଇ ଚେଷ୍ଟା କରିଥିଲେ । କୌଣସିଟି କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହେଲନାହିଁ । ଟୋଲେମିଙ୍କ ଅଧିଚକ୍ର (epicycies) ଓ ଡିଫରେଣ୍ଟସ (Deferents) ଧାରଣା ବ୍ୟବହାର କରିବାରୁ କିଛି ଉନ୍ନତି ହେଲା । ତଥାପି ଗଣନା ଓ ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣଦ୍ୱାରା ସ୍ଥିର କରାଯାଇଥିବା ସ୍ଥାନ ମଧ୍ୟରେ ପାର୍ଥକ୍ୟ ସ୍ଥାନେ ସ୍ଥାନେ ସ୍ଵପରେ ୮ ମିନଟ୍ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ତଫାତ୍ ହେଲା । କେପଲର୍ ଜାଣିଥିଲେ ଯେ ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣରେ କେବେ ହେଲେ ଏତେ ଭୁଲ୍ ହେବନାହିଁ । ଗ୍ରହ ଗତି ସମ୍ବନ୍ଧରେ କୌଣସି ନୂତନ ଭାବନାର ଆବଶ୍ୟକତା ହେଉଥିଲା ।

ତାପରେ କେପଲର ସମ ବୃତ୍ତୀୟ ଗତି ପରିତ୍ୟାଗ କଲେ ଏବଂ ଅନୁମାନ କଲେ ଯେ ସୂର୍ଯ୍ୟଠାରୁ ଗ୍ରହର ଦୂରତା ସହ ବିପରୀତ କ୍ରମରେ ଗତିରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୁଏ । ଏହି ଅନୁମାନହିଁ ତାଙ୍କର ବିଖ୍ୟାତ "ଦ୍ୱିତୀୟ ନିୟମ—ସୂର୍ଯ୍ୟ ଓ ଗ୍ରହକୁ ଯୋଗ କରୁଥିବା ସରଳରେଖା ବା ସଦିଶତ୍ରିଜ୍ୟା (Radius vector) ସମ ସମୟ ବ୍ୟବଧାନରେ ସମ ପରିମାଣର କ୍ଷେତ୍ର ଆଚ୍ଛନ୍ନ କରେ । ଏହା ମୋଟାମୋଟି କାମ କଲା । ତଥାପି ଏଥିରେ ନିୟମିତ ଭ୍ରମ ରହିଥିଲା ଏବଂ ଏହି ଭ୍ରମ ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣରେ ହେଉଥିବା ଭ୍ରମ ଅପେକ୍ଷା ଅଧିକ ଥିଲା । ଶେଷରେ ସେ ଟୋଲେମି ପ୍ରଣାଳୀର ଶେଷ ପରମ୍ପରାକୁ ଭାଙ୍ଗି ଅନ୍ୟ ଆକାରର କକ୍ଷ ନେଲେ । ପ୍ରଥମେ ଗୋଟିଏ ଅଣ୍ଡାକାରର ପଥ (oval) ଓ ପରେ ଗୋଟିଏ ଅଧିବୃତ୍ତ (ellipse)ର ଗୋଟିଏ ନାଭିରେ ସୂର୍ଯ୍ୟକୁ ରଖି । ଶେଷରେ ବର୍ଷ ବର୍ଷ ବ୍ୟାପୀ ଗଣନାର ଫଳ ମିଳିଲା । କକ୍ଷଟି ଗୋଟିଏ ଅଧିବୃତ୍ତ । ତାତ୍ତ୍ୱିକ ଗଣନା ଓ ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣର ଫଳ ମିଳିଗଲା । ସମସ୍ତ ବିଜ୍ଞାନର ଗୋଟିଏ ପ୍ରଧାନ ଓ ବହୁପ୍ରସାରୀ ନିୟମ ଆବିଷ୍କୃତ ହେଲା । ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣ ଓ ଗଣନା ମଧ୍ୟରେ ସ୍ୱଳ୍ପ ୮ମିନଟର ତଫାତ୍ ଲାଗି ଏହା ସମ୍ଭବ ହେଲା । ବିଜ୍ଞାନର ଅଭ୍ୟୁଦୟରେ ଗୋଟିଏ ଆକର୍ଷଣୀୟ ସତ୍ୟ ଏହି ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣ ଗଣନାରେ ଏପରି ସାମାନ୍ୟ ତାରତମ୍ୟ ଲାଗି ଅନେକ ମୌଳିକ ତତ୍ତ୍ୱ ଆବିଷ୍କାର ସମ୍ଭବ ହେଲା ।

କାର୍ଯ୍ୟତଃ କେପଲର ବଂଶଧରମାନଙ୍କୁ ଗ୍ରହ ନକ୍ଷତ୍ର ଗତି ସମ୍ବନ୍ଧରେ ତିନୋଟି ନିୟମ ଦେଇଗଲେ । ଏହି ନିୟମ ଟୋଲେମିଙ୍କ ପ୍ରଣାଳୀର ଯାହା କିଛି ବ୍ୟବସ୍ଥା ହୋଇଅଛି ତାହା ଆଧୁନିକ ଜ୍ୟୋତିଷ ଶାସ୍ତ୍ରର ପଥ ପରିଷ୍କାର କରି ଦେଇଛି ।

୧ । ସୂର୍ଯ୍ୟ ଚତୁଃପଟେ ଗ୍ରହମାନଙ୍କର ଅକ୍ଷ ସବୁ ଅଧିବୃତ୍ତାକାର ଓ ଏ ଦ୍ୱାର ଏକ ନାଭିରେ ସୂର୍ଯ୍ୟ ଅବସ୍ଥିତ ।

୨ । (ସୂର୍ଯ୍ୟଠାରୁ ଗ୍ରହର) ସଦିଶ ତ୍ରିଜ୍ୟା ସମକାଳ ବ୍ୟବଧାନରେ ସମପରିମାଣରେ କ୍ଷେତ୍ର ଆଚ୍ଛନ୍ନ କରେ ।

୩ । ସୂର୍ଯ୍ୟ ଚତୁଃପଟେ ଗ୍ରହମାନଙ୍କର ଆବର୍ତ୍ତନକାଳର ବର୍ଗସବୁ ସେମାନଙ୍କର କକ୍ଷମାନଙ୍କର ପ୍ରଧାନ ଅକ୍ଷର ଅର୍ଦ୍ଧେକର ଘନ ସହିତ ସମାନୁପାତୀ ।

କିନ୍ତୁ ଗ୍ରହମାନେ କାହିଁକି ଗତି କରନ୍ତି ? କାହିଁକି ବାହାର ଆଡ଼କୁ ଥିବା ଗ୍ରହମାନଙ୍କର ଗତି ମନ୍ଥର ? ତେବେ କ'ଣ ସାଧାରଣ କେନ୍ଦ୍ରରେ ଥିବା ସୂର୍ଯ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ଗତିଶୀଳ ଧୀଶକ୍ତି ଅଛି, ଯାହାକି ସମସ୍ତଙ୍କୁ ଗତି କରାଉଛି ଏବଂ ନିକଟତମ ଗ୍ରହକୁ ସର୍ବାଧିକ ବେଗ ଦେଉଛି ?'' କେପଲର ବହୁକାଳ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଏହି ପ୍ରଶ୍ନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଚିନ୍ତା କରିଥିଲେ ଏବଂ ମନେକଲେ ଯେ; ଯେକୌଣସି ଦୁଇଟି ବସ୍ତୁ ମଧ୍ୟରେ ଏକପ୍ରକାର ଆକର୍ଷଣ ବଳ କାମ କରୁଛି । କେପଲରଙ୍କର ଏହି ଗୁଣାତ୍ମକ ଧାରଣା ପରେ ନିଉଟନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ପରିମାଣାତ୍ମକ ମହାକର୍ଷଣ (gravitation) ମତବାଦରେ ଜନ୍ମ ଦେଲା । ତେବେ କେପଲରଙ୍କର ନିଜର ଧାରଣା ନଥିଲା ଯେ ଏହି ଆକର୍ଷଣ ବଳହିଁ ଗ୍ରହମାନଙ୍କୁ ସେମାନଙ୍କର କକ୍ଷରେ ଧରି ରଖିଛି ।

ଆଲୋକ ଜଗତରେ ମଧ୍ୟ କେପଲରଙ୍କର ଅବଦାନ ଯଥେଷ୍ଟ ଥିଲା । ପୂର୍ଣ୍ଣ ଆଭ୍ୟନ୍ତର ପ୍ରତିଫଳନ ପ୍ରଣାଳୀ ସେ ବୁଝିଥିଲେ ଏବଂ ବର୍ତ୍ତମାନ ଆମେ ଯାହାକୁ ସଙ୍କଟକୋଣ ବୋଲି କହୁଛୁ, ତାହା କପରି ମାପ କରିବାକୁ ହୁଏ, ସେ ଜାଣିଥିଲେ । ବାୟୁମଣ୍ଡଳର ପ୍ରତିସରଣ କପରି ତାରକାମାନଙ୍କର ପ୍ରତୀୟମାନ ଅବସ୍ଥାନକୁ ପ୍ରଭାବିତ କରେ ସେ ଆଲୋଚନା କରିଥିଲେ ଏବଂ ଶୀର୍ଷବିନ୍ଦୁଠାରୁ ଦିଗ୍‌ବଳୟ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ସମସ୍ତ ଅବସ୍ଥାନରେ ଏହି ଭ୍ରମ କପରି ଗଣନାଦ୍ୱାରା ସଂଶୋଧନ କରାଯାଇପାରିବ, ସେଥିପାଇଁ ଗୋଟିଏ ଆସନ୍ନ ସୂତ୍ର ବାହାର କରିଥିଲେ । ସେ ପ୍ରଥମେ ଇନ୍ଦୁରୂପୀ (meniscus) ଯବକାଚର ଧାରଣା

ଦେଇଥିଲେ । ସେ କେମ୍‌ଲେନ୍ସ ଦୂରବୀକ୍ଷଣ ଯନ୍ତ୍ର ଉଦ୍ଭାବନ କରିଥିଲେ । ଏଥିରେ ପ୍ରକୃତ ପ୍ରତିବିମ୍ବ ଦେଖାଯାଉଥିଲା । ତେଣୁ ନେତ୍ରିକାର ଫୋକସ ତଳରେ ଅନୁପ୍ରସ୍ଥ ତାର ରଖି ମାପ କରିବା ସମ୍ଭବ ହେଲା ।

1.14 ପରୀକ୍ଷା ପ୍ରଣାଳୀର ପ୍ରସାର :

ଗାଲିଲିଓ, ଟାଇକୋ ଓ କେପ୍‌ଲର୍‌ଙ୍କର ବିଜ୍ଞାନକୁ ଦେଇଥିବା ଏହି ପ୍ରେରଣା ଫଳରେ ପରବର୍ତ୍ତୀମାନଙ୍କରେ ଅନୁସନ୍ଧିତ୍ସୁମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ଦିନକୁଦିନ କ୍ରମେ ବଢ଼ିବାକୁ ଲାଗିଲା । ପ୍ରାୟ ଏହି ସମୟରେ ୟୁରୋପରେ ପଣ୍ଡିତମଣ୍ଡଳୀ ସବୁ ଗଢ଼ି ଉଠିଲା । ଏକପ୍ରକାର ଚିନ୍ତାଧାରାର ପଣ୍ଡିତମାନେ ଏକତ୍ରିତ ହୋଇ ଆଲୋଚନା ଓ ଯୁକ୍ତି କରିବାର ଏହାଦ୍ୱାରା ସୁବିଧା ହେଲା । ୧୬୦୩ ମସିହାରେ ଇଟାଲୀରେ ଲିନ୍‌ସିନ୍ ସୋସାଇଟି ଗଢ଼ାଗଲା । ୧୬୬୬ ମସିହାରେ ଫ୍ରାନ୍‌ସରେ ରୟାଲ ସୋସାଇଟି; ୧୬୬୨ ମସିହାରେ ଇଂଲଣ୍ଡର ରୟାଲ ସୋସାଇଟି ଗଢ଼ାଗଲା । ଛପା ପ୍ରଣାଳୀରେ ମଧ୍ୟ ବହୁ ଉନ୍ନତି ସାଧିତ ହେବାରୁ ବୈଜ୍ଞାନିକ ଜ୍ଞାନର ପ୍ରସାରରେ ସୁଯୋଗ ମିଳିଲା ।

୧୬୦୦ ମସିହାରେ ଜଣେ ଇଂରେଜ ଡାକ୍ତର ୱିଲିୟମ୍ ଗିଲବର୍ଟ "ଡି ମାଗ୍ନେଟେ" ବୋଲି ତାଙ୍କର ବିଖ୍ୟାତ ପୁସ୍ତକ ପ୍ରକାଶ କଲେ । ଏଥିରେ ବର୍ଣ୍ଣିତ ପରୀକ୍ଷାଗୁଡ଼ିକ ସେ ନିଜେ କରିଥିଲେ । ଏଥିପୂର୍ବରୁ ଲୋକ ବିଶ୍ୱାସ ଥିଲା ଚୁମ୍ବକପଥରରେ ରସୁଣ ଘଷିଦେଲେ ଏହାର ଚୁମ୍ବକତ୍ୱ ଚାଲିଯାଏ ଏବଂ ପୁଣି ଏଥିରେ ଛେଳି ରକ୍ତ ଘଷିଦେଲେ, ଏଥିରେ ଚୁମ୍ବକତ୍ୱ ଫେରିଆସେ, ସେ ଏହି ଭୁଲ ଉକ୍ତି ପୁସ୍ତକରେ ଦେଖାଇ ଦେଇଥିଲେ । ପ୍ରଥମେ ସେ ଦେଖାଇଲେ ଯେ ପୃଥିବୀ ଗୋଟିଏ ବିଶାଳ ଚୁମ୍ବକ । ସେ ପ୍ରକୃତରେ ଗୋଟିଏ ଲୌହ ଗୋଲକକୁ ଚୁମ୍ବକରେ ପରିଣତ କରି ଦେଖାଇଲେ ଯେ ଏହାର ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ର ପୃଥିବୀର ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ସଦୃଶ ।

ଚୁମ୍ବକରେ କାମ କରିଥିବା ଜଣେ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ କର୍ମୀ ହେଲେ ଖଚର (୧୬୦୧—୧୬୮୦) । ସେ ଚୁମ୍ବକର ପ୍ରତ୍ୟେକ ମେରୁଠାରୁ ଖଣ୍ଡିଏ ଲୁହାକୁ ଟାଣି ବାହାର କରିବା ପାଇଁ ଦରକାର ବଳ ପରିମାଣକୁ ମାପି ସ୍ଥିର କଲେ ଯେ ଏ ଦୁଇ-ମେରୁ ବଳରେ ସମାନ; କାବେଓ (୧୫୮୫—୧୬୫୦) ଏ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଅନ୍ୟ ଜଣେ କର୍ମୀ । ଚୁମ୍ବକତ୍ୱ ନଥିବା ଖଣ୍ଡିଏ ଲୌହ ସୂଚୀ ଜଳ ଉପରେ ସ୍ୱାଧୀନ ଭାବରେ ଭାସିଲେ ନିଜକୁ ପୃଥିବୀର ଚୁମ୍ବକ ଧ୍ରୁବବୃତ୍ତ

(Magnetic Meridian) ରେ ରହିବ । ଏକ୍ଷେତ୍ରରେ ଅନ୍ୟ ଜଣେ କର୍ମୀ ଗେଲି ବ୍ରାଣ୍ଡ (୧୫୯୭—୧୬୩୭) ଚୁମ୍ବକୀୟ ବିଚ୍ୟୁତି (Declination)ର ଦୀର୍ଘକାଳୀନ ପରିବର୍ତ୍ତନ ଆବିଷ୍କାର କରିଥିଲେ ।

ଆଲୋକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ସ୍କିନର (୧୫୭୫—୧୬୫୦) ଆଖିର ଆଲୋକ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ଆଲୋଚନା କରିଥିଲେ; ସ୍ନେଲ (୧୫୯୧—୧୬୨୬) ପ୍ରତିସରଣର ପ୍ରକୃତ ନିୟମ ଆବିଷ୍କାର କରିଥିଲେ; ଏବଂ କାଭାଲିରି (୧୫୯୮—୧୬୪୭) ଗୋଟିଏ ପାତଳ ଯବକାଚର ଦୁଇତଳର ବକ୍ରତା ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ସାହାଯ୍ୟରେ ଫୋକସ୍ ଦୂରତ୍ୱ ଉପଯୁକ୍ତ ସୂତ୍ର ପ୍ରଦାନ କରିଥିଲେ । ଧ୍ୱନି ବିଜ୍ଞାନରେ ମର୍ସେନେ (୧୫୮୮—୧୬୪୮) କମ୍ପିତ ତାର ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ନିୟମ ବାହାର କରି ଗୋଟିଏ ସରଳ ଧ୍ୱନିର ଆବୃତ୍ତି ନିର୍ଣ୍ଣୟର ପରମ ପ୍ରଣାଳୀ ବାହାର କରିଥିଲେ । ଗୋଟିଏ ବନ୍ଧୁକର ଧୂଆଁ ବାହାରିବା ଓ ଶବ୍ଦ ଶୁଣାଯିବା ସମୟ ମଧ୍ୟରେ ବ୍ୟବଧାନ ମାପି ସେ ଧ୍ୱନିର ବେଗ ମଧ୍ୟ ନିରୂପଣ କରିଥିଲେ ।

ଦ୍ରାବ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ (fluid machanics) କ୍ଷେତ୍ରରେ କାଷ୍ଟେଲି (୧୬୦୮—୧୬୪୭) ବିବରଣୀରୁ ତରଳ ପଦାର୍ଥ ପ୍ରବାହ ବିଷୟରେ ଆଲୋଚନା କରିଥିଲେ । ସେ ବାୟୁଚାପମାନ ଯନ୍ତ୍ରର ଗଠନ ପ୍ରଣାଳୀ ଆବିଷ୍କାର କରିଥିଲେ ଏବଂ ଉଚ୍ଚତା ଅନୁସାରେ ଚାପର ପରିବର୍ତ୍ତନ ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣ କରିଥିଲେ । ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଭାବରେ କାର୍ଯ୍ୟକରି ଗରିକ୍ (୧୬୦୨—୧୬୮୬) ବାୟୁପମ୍ପ ଉଦ୍ଭାବନ କରିଥିଲେ । ପାସ୍କେଲ୍ (୧୬୨୩—୧୬୬୨) ଗୋଟିଏ ପର୍ବତର ଅଗ୍ରଭାଗ ଓ ପାଦଦେଶରେ ବାୟୁଚାପମାନ ଯନ୍ତ୍ରରେ ଦେଖାଯାଉଥିବା ଉଚ୍ଚତାର ତାରତମ୍ୟ ମାପ କରିଥିଲେ; ଏହି ତାରତମ୍ୟର କାରଣ ଠିକ୍ ଭାବରେ ବୁଝାଇଦେଇ ପାରିଥିଲେ । ଏହାପରେ ସେ ତାଙ୍କ ନାମାନୁସାରେ ନାମିତ ବହୁଖ୍ୟାତ ଦ୍ରାବସ୍ଥିତିକୀ ନୀତି ଘୋଷଣା କରିଥିଲେ ।

କେବଳ ଯେ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ ଗୋଟିଏ ବିଷୟ ଭାବରେ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ରୂପରେଖ ନେବାକୁ ଆରମ୍ଭ କରିଥିଲା ତା ନୁହେଁ; ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ, ଆଲୋକ, ଧ୍ୱନି ପ୍ରଭୃତି ଏହାର ବିଭିନ୍ନ ବିଭାଗ ମଧ୍ୟ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଆକାର ଧାରଣ କରିବାକୁ ଆରମ୍ଭ କରିଥିଲା । ତାପରେ ଜଣେ ଆସିଲେ ।

…"ଯାହାଙ୍କର ଉତ୍ତୁଙ୍ଗ ମସ୍ତକ ଓ ସ୍କନ୍ଧ ତାଙ୍କର ସମସାମୟିକ ପଣ୍ଡିତମାନଙ୍କର ବହୁ ଊର୍ଦ୍ଧ୍ୱରେ ରହିଥିଲା, ଯେ ଯୋଗଜନ୍ମା ମହାପୁରୁଷମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରଧାନ ମହାପୁରୁଷ; ଜଣେ ମନୀଷୀ—ଯାହାଙ୍କର ଧୀଶକ୍ତି ଓ ବିଜ୍ଞାନକୁ ଅବଦାନ ଅତୀତର ଯେକୌଣସି ଅନ୍ୟ

ବୈଜ୍ଞାନିକଙ୍କର ଦାନ ଅପେକ୍ଷା ଅଧିକ ଓ ଅତୁଳନୀୟ, ସେହି ଦାର୍ଶନିକମାନଙ୍କର ସମ୍ରାଟ୍ ସାର୍ ଆଇଜାକ୍ ନିଉଟନ୍ † ।"

ଅନ୍ୟ ସମସାମୟିକ ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ପୂର୍ବୋକ୍ତ ମହାପୁରୁଷମାନେ ହେଲେ ବଏଲ୍, ହାଇଗେନ ଓ ହୁକ୍ ।

1.15 ସାର୍ ଆଇଜାକ୍ ନିଉଟନ୍ (୧୬୪୨—୧୭୨୭) :

ଗାଲିଲିଓଙ୍କର ମୃତ୍ୟୁ ପରେ ବର୍ଷେ ନପୂରୁଣୁ ଇଂଲଣ୍ଡର ଉଲସ୍‌ଥର୍ପଠାରେ ଗୋଟିଏ କୁଡ଼ିଆରେ ନିଉଟନ୍ ଜନ୍ମ ଲଭିଥିଲେ । ଗ୍ରାନ୍ଥମଠାରେ ଗୋଟିଏ ସାଧାରଣ ସ୍କୁଲରେ ସେ ପାଠପଢ଼ା ଆରମ୍ଭ କରିଥିଲେ । ପ୍ରଥମେ ସେ ଶିକ୍ଷା ପ୍ରତି ସେପରି ବିଶେଷ ଆଗ୍ରହ ଦେଖାଇ ନଥିଲେ; କିନ୍ତୁ ଶେଷରେ ସେ ଶ୍ରେଣୀରେ ସର୍ବୋଚ୍ଚସ୍ଥାନ ଅଧିକାର କରିଥିଲେ । ତାପରେ ପନ୍ଦରବର୍ଷ ବୟସରେ ତାଙ୍କର ପଢ଼ା ବନ୍ଦ ହୋଇଗଲା । ସେ ଉଲ୍‌ସଥର୍ପରେ ତାଙ୍କର ବିଧବାମାତାଙ୍କୁ ଜମିବାଡ଼ି ଦେଖିବାରେ ସାହାଯ୍ୟ କଲେ । କିନ୍ତୁ ଗୃହବାସରେ ତାଙ୍କର ମନ ଲାଗୁ ନଥିଲା । ବରଂ ଶିକ୍ଷାରେ ଏବଂ ବିଭିନ୍ନ ଯାନ୍ତ୍ରିକ ବିଷୟରେ ତାଙ୍କର ଆଗ୍ରହ ଥିଲା । ସେ ଗୋଟିଏ ଜଳଘଡ଼ି, ଜଳଚକ, ସୌରଘଡ଼ି ଓ ବାୟୁଚାଳିତ ଯନ୍ତ୍ରର ଗୋଟିଏ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ମଡ଼େଲ ତିଆରି କରିଥିଲେ । ଦିନେ ସକାଳେ କ୍ଷେତରେ କାମ କରିବା ପରିବର୍ତ୍ତେ ଗୋଟିଏ ବାଡ଼ମୂଳରେ ବସି ଅଙ୍କ କଷିଲାବେଳେ ତାଙ୍କୁ ତାଙ୍କର ମାମୁଁ ଦେଖିଲେ । ସେଥିରୁ ତାଙ୍କର ମା ଠିକ୍‌ଭାବରେ ସ୍ଥିର କଲେ ଯେ ଶିକ୍ଷାମୂଳକ ଧନ୍ଦା ତାଙ୍କର ପୁଅପାଇଁ ଉପଯୁକ୍ତ ହେବ । ତେଣୁ ପୁଣି ଥରେ ତାଙ୍କୁ ସ୍କୁଲକୁ ପଠାଗଲା ଏବଂ ୧୬୬୧ ମସିହାରେ ସେ କେମ୍ବ୍ରିଜକୁ ପଢ଼ିଗଲେ । ଏଠାରେ ତାଙ୍କର ସୃଷ୍ଟି କରିବାର ପ୍ରତିଭା ପ୍ରକାଶ ପାଇଲା । ସେ ଛାତ୍ର ଥିବା ଅବସ୍ଥାରେ ଦ୍ୱିପଦ ପ୍ରମେୟ (binomial theorem) ଆବିଷ୍କାର କରିଥିଲେ, ଅନନ୍ତ ଶ୍ରେଢୀ (infinite series) ପ୍ରଣାଳୀର ଉନ୍ନତି କରିଥିଲେ ଓ ଚଳନକଳନ (differential calculus) ଆବିଷ୍କାର କରିଥିଲେ ।

ଠିକ୍ ଏହାପରେ ପ୍ଲେଗ୍ ମହାମାରୀ ଆରମ୍ଭ ହେବା ଫଳରେ ବିଶ୍ୱବିଦ୍ୟାଳୟ କେତେମାସପାଇଁ ବନ୍ଦ ହୋଇଯାଇଥିଲା । ଏହି ସମୟରେ ନିଉଟନ୍ ତାଙ୍କର ଗ୍ରାମ ଉଲ୍‌ସ୍‌ଥାର୍ପଠାରେ ମହାକର୍ଷଣ ବଳ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଚିନ୍ତା କରିବାକୁ ଆରମ୍ଭ କରିଥିଲେ ।

† I. B. Hart, "Makers of Science" Oxford, 1923.

ଏହାରୁ ପରେ ତାଙ୍କର ପ୍ରତିଲୋମ ବର୍ଗନିୟମ (inverse-square law) ପ୍ରତିପାଦିତ ହୋଇଥିଲା । ଏହିଠାରେ ନିଉଟନ୍‌ଙ୍କ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ବହୁଳ ଭାବରେ କୁହାଯାଉଥିବା ଆତ ପଡ଼ିବା ଗଳ୍ପର ଘଟଣା ଘଟିଥିଲା । ଏହି ଘଟଣାରୁ ନିଉଟନ୍ ମହାକର୍ଷଣ ବାଦ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ମୌଳିକ ଧାରଣା ପାଇଥିଲେ ବୋଲି କୁହାଯାଏ । ମାତ୍ର ଏ ଘଟଣା ଘଟିଥିବା କଥା ନିଉଟନ୍ ନିଜେ କେବେ କହି ନାହାନ୍ତି । କେପଲରଙ୍କର ସାଧାରଣ ମହାକର୍ଷଣ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ମତ ସେ କେମ୍ବ୍ରିଜଠାରେ ପଢ଼ିଥିବାର ଅଧିକ ସମ୍ଭାବନା ଅଛି । କେପଲର୍‌ଙ୍କର ଗ୍ରହମାନଙ୍କ ଗତି ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ନିୟମଗୁଡ଼ିକ ସହିତ ନିଉଟନ୍ ଯେ ସୁପରିଚିତ ଥିଲେ, ତାହା ନିଶ୍ଚିତରୂପେ କୁହାଯାଇପାରିବ ।

୧୬୬୭ ମସିହାରେ ଟ୍ରିନିଟିର ଫେଲୋ ଭାବରେ ସେ କେମ୍ବ୍ରିଜକୁ ଫେରି ଆସିଲେ । ଛବିଶିବର୍ଷ ବୟସରେ ସେ ଗଣିତର ଲୁକେସିଆନ୍ ପ୍ରଫେସର ଆସନରେ ଅଧିଷ୍ଠିତ ହେଲେ । ଏହି ପଦରେ ସେ ପ୍ରାୟ ୩୦ ବର୍ଷ ରହିଥିଲେ । ୧୭୦୩ ମସିହାରେ ସେ ଏହି ପଦରୁ ଇସ୍ତଫା ଦେଇ ଗୋଟିଏ ମୁଦ୍ରାଶାଳାର ଅଧ୍ୟକ୍ଷ ପଦ ଗ୍ରହଣ କଲେ; ତାଙ୍କର ସମସାମୟିକ ବୈଜ୍ଞାନିକମାନଙ୍କର କାର୍ଯ୍ୟରେ ସାହାଯ୍ୟ କଲେ ଏବଂ ଈର୍ଷାନ୍ୱିତ ପ୍ରତିଦ୍ୱନ୍ଦୀମାନଙ୍କର ଆକ୍ରମଣରୁ ନିଜର ମତବାଦକୁ ରକ୍ଷା କରିବାକୁ ଚେଷ୍ଟା କଲେ । ସେହିବର୍ଷ ସେ ରୟାଲ ସୋସାଇଟିର ସଭାପତି ପଦ ପାଇଁ ନିର୍ବାଚିତ ହୋଇଥିଲେ । ଏହି ପଦରେ ସେ ମୃତ୍ୟୁ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ରହିଥିଲେ । ରାଣୀ ଆନେଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ୧୭୦୫ ମସିହାରେ ସେ ନାଇଟ ଉପାଧି ପାଇଥିଲେ ।

ପ୍ରଫେସର କାମ ଛାଡ଼ିବା ପୂର୍ବରୁ ନିଉଟନ୍‌ଙ୍କର ପ୍ରଧାନ ବୈଜ୍ଞାନିକ କାର୍ଯ୍ୟମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ଅଧିକାଂଶ ଶେଷ ହୋଇଥିଲା । ଅବଶ୍ୟ ତାପରେ "ପୃଥିବୀ ବିଜ୍ଞାନ ଜଗତରେ ସର୍ବଶ୍ରେଷ୍ଠ ମନୀଷୀମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଅଗ୍ରଗଣ୍ୟ ଥିଲେ; କିନ୍ତୁ ଉତ୍ତରଜୀବନରେ ସେ ଧର୍ମଶାସ୍ତ୍ର ଆଲୋଚନାରେ ଅଧିକାଂଶ ସମୟ କଟାଇଥିଲେ । ସେ ଜୀବନସାରା ଲୋକଲୋଚନର ଅନ୍ତରାଳରେ ରହିବାର ଚେଷ୍ଟା କରିଥିଲେ ସେ ସରଳ ଓ ନିରାଡମ୍ବର ଜୀବନ କଟାଇ ଥିଲେ । ମୃତ୍ୟୁର ଅବ୍ୟବହିତ ପୂର୍ବରୁ ସଂକ୍ଷେପରେ ସେ ମନର ଭାବ ପ୍ରକାଶ କରି କହିଥିଲେ—

"ମୁଁ ପୃଥିବୀକୁ କିପରି ପ୍ରତୀତ ହେଉଛି ଜାଣେନାହିଁ; କିନ୍ତୁ ମୋ ନିଜପାଇଁ, ମୋର ମନେ ହେଉଛି ମୁଁ ଛୋଟ ପିଲାଟି ପରି ସମୁଦ୍ରକୂଳରେ ଖେଳୁଛି; କେବେ କିପରି ସାଧାରଣ

ଅପେକ୍ଷା ଟିକିଏ ଚିକ୍‌କଣିଆ ବାଲିଗରଡ଼ାଟେ ବା ସୁନ୍ଦର ଶଙ୍ଖଟିଏ ପାଇଲେ ଗୋଟାଇ ପକାଉଛି; ମୋର ସମ୍ମୁଖରେ ତଥ୍ୟର ବିଶାଳ ସମୁଦ୍ର ଅନାବିଷ୍କୃତ ହୋଇ ରହିଅଛି ।”

ନିଉଟନଙ୍କ କାର୍ଯ୍ୟର ଯେକୌଣସି ସଂକ୍ଷିପ୍ତ ଆଲୋଚନା, ସେ ବିଜ୍ଞାନକୁ ଦେଇଥିବା ଦାନର ଅତି ସାମାନ୍ୟ ଧାରଣା ମାତ୍ର ପ୍ରକାଶ କରିପାରିବ । ଆଲୋକ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଓ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ତାଙ୍କର ଅଳ୍ପ କେତୋଟି ଗବେଷଣା କଥା ଆମେ ଏଠାରେ ଉତ୍ଥାପନ କରିବା । ଲେନ୍‌ସ ବା ଯବକାଚର ଉନ୍ନତି କରିବାପାଇଁ ଚେଷ୍ଟା କରିବାରେ ନିଉଟନଙ୍କର ଆଲୋକ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ କାର୍ଯ୍ୟ ଆରମ୍ଭ ହୋଇଥିଲା । ଗୋଲାକାର ତଳବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ଯବକାଚ ସମାନ୍ତରାଳ ଆଲୋକ ରଶ୍ମିଗୁଡ଼ିକୁ ଗୋଟିଏ ବିନ୍ଦୁକୁ ଆଣି ପାରେନାହିଁ ବୋଲି ଆଗରୁ ଜଣାଥିଲା । ୧୬୨୯ରେ ଡେକାର୍ଟେ ଦେଖାଇଥିଲେ ଯେ ହାଇପରବୋଲୀୟ ଯବକାଚରେ ବା ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରିଚ୍ଛିତରେ ପାରାବୋଲୀୟ ଯବକାଚରେ ଏହି ଦୋଷ ରହେ ନାହିଁ । ଏହି ଦୋଷକୁ ଆଜିକାଲି ଗୋଲକୀୟ ବିପଥନ (Spherical aberration) ବୁଝାଯାଉଅଛି । କିନ୍ତୁ ନିଉଟନ୍ ଦେଖାଇଲେ ଯେ ଏପରି ଯବକାଚରେ ପ୍ରତିବିମ୍ବରେ ସାମାନ୍ୟ ଉନ୍ନତି ଘଟୁଅଛି । ସେ ଅନୁମାନ କଲେ ଯେ ବୋଧହୁଏ ଏହି ଅସୁବିଧା ଯବକାଚ ଲାଗି ହେଉନାହିଁ; ଆଲୋକ ଲାଗି ହେଉଛି ।

ତେଣୁ ସେ ଗୋଟିଏ ପ୍ରିଜମ୍ ସଂଗ୍ରହ କଲେ । ‡ଇଞ୍ଚ ବ୍ୟାସବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ବିବର ମଧ୍ୟ ଦେଇ ସୂର୍ଯ୍ୟକିରଣ ଗୋଟିଏ ଅନ୍ଧାର ଘର ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରବେଶ କରାଇଲେ । ଏହି ସୂର୍ଯ୍ୟକିରଣ ପ୍ରିଜମ୍ ମଧ୍ୟଦେଇ ଯାଇ ପ୍ରାୟ ୨୦ଫୁଟ ଦୂରରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ କାନ୍ଥରେ “ପରିଷ୍କାର ଓ ଚମତ୍କାରଭାବେ ବର୍ଣ୍ଣସବୁ” ଦେଖାଗଲା । ନିଉଟନ୍ ଆଶ୍ଚର୍ଯ୍ୟ ହୋଇ ଦେଖିଲେ ଯେ ଏହି ବର୍ଣ୍ଣାଳୀ । ସେଗୁଡ଼ିକ ଯେତେ ଚଉଡ଼ା ହୋଇଥିଲା, ତାଠାରୁ ବହୁତ ବେଶୀ ଲମ୍ବା ହୋଇଥିଲା (୧୩ ¼ × ୨ ⅝ ଇଞ୍ଚ) । ଚଉଡ଼ାଟି ବିବର ପାଖରେ ଯେତେ କୋଣ କରୁଥିଲା, ତାହା ସୂର୍ଯ୍ୟଙ୍କର କୌଣିକ ବ୍ୟାସ ସହ ଠିକ୍ ସମାନ ଥିଲା; କିନ୍ତୁ ଦୈର୍ଘ୍ୟକୁ ଏପରି ବୁଝାଇ ହେଉ ନଥିଲା । ବର୍ଣ୍ଣସବୁର ଉତ୍ପତ୍ତି ସମ୍ବନ୍ଧରେ ସେ ବିଭିନ୍ନ ଅନୁମାନ କରିବାକୁ ଲାଗିଲେ :—ଯଥା—ପ୍ରିଜମ୍‌ର ଭୂମିଠାରୁ ଶୀର୍ଷର ବ୍ୟବଧାନ ବା ବା ମୋଟାରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ; କାଚର ଆବୃଡ଼ାବୁଆ ଗୁଣ, ପ୍ରିଜମ୍‌କୁ ବାଧାଇବା ପରେ ଆଲୋକର ବକ୍ରଗତି ଇତ୍ୟାଦି ଗୋଟି ଗୋଟି ପରୀକ୍ଷା କରି ଏସବୁ ଅନୁମାନ ଭୁଲ ବୋଲି

ପ୍ରମାଣ କରିଦେଲେ । ଶେଷରେ ସେ ଉପଯୁକ୍ତ ପରିଦାଦ୍ୱାରା ଗୋଟିଏ ରଶ୍ମି ବା ରଙ୍ଗ ଅଲଗା କରିଦେଲେ ଓ ତାହାକୁ ଆଉ ଗୋଟିଏ ପ୍ରିଜମ ମଧ୍ୟରେ ଚଳାଇନେଲେ । ଏହିପରି ସେ ଗୋଟିଏ ରଶ୍ମିର ପ୍ରତିସରଣ ମାପ କରିପାରିଲେ । ସେ ଦେଖିଲେ ଯେ ନାଲିରଙ୍ଗଠାରୁ ବାଇଗଣୀ ରଙ୍ଗ ଆଡ଼କୁ ଗଲେ, ପ୍ରତିସରଣ ବଢ଼ି ବଢ଼ି ଯାଉଅଛି । ତେଣୁ ପ୍ରଥମ ପ୍ରିଜମଟି କେବଳ ବିଭିନ୍ନ ବର୍ଣ୍ଣକୁ ବାଛି ଦେଉଥିଲା; ଏସବୁ ବର୍ଣ୍ଣ ମିଶି ଶୁକ୍ଳରଙ୍ଗ ପତିତ ହୋଇଥିଲା । ଅନ୍ୟ ଭାଷାରେ କହିଲେ, ସେ ଆବିଷ୍କାର କରିଥିଲେ ଯେ ଶୁକ୍ଳ ଆଲୋକ ବର୍ଣ୍ଣାଳୀର ବିଭିନ୍ନ ରଙ୍ଗର ସମ୍ମିଶ୍ରଣରେ ଗଠିତ । ଆମପାଇଁ ଏହା ଏକ ସାଧାରଣ ଧାରଣା; କିନ୍ତୁ ୧୬୬୬ ମସିହାରେ ଏହାର ପ୍ରାଧାନ୍ୟ ବହୁଦୂର ପ୍ରସାରି ଥିଲା ।

ନିଉଟନ୍ ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଦେଖି ପାରିଲେ—ଏହି ବିକ୍ଷେପଣ ହିଁ ତାଙ୍କ ପାରିବୋଲିକ ଯବକାଚ ସାହାଯ୍ୟରେ ଦୂରବୀକ୍ଷଣ ଯନ୍ତ୍ରର ବିଶେଷ କିଛି ଉନ୍ନତି କରିବାରେ ପରାଜୟର କାରଣ ହୋଇଥିଲା । ଏହାଛଡ଼ା ଗୋଟିଏ ତ୍ରୁଟିପୂର୍ଣ୍ଣ ପରୀକ୍ଷା ଫଳରେ ସେ ସିଦ୍ଧାନ୍ତରେ ଉପନୀତ ହେଲେ ଯେ ବିଭିନ୍ନ ମାଧ୍ୟମରେ ବିକ୍ଷେପଣ ପ୍ରତିସରଣ ଶକ୍ତିର ସମାନୁପାତୀ । ଯଦି ଏହାହିଁ ହୁଏ, ତେବେ ବିଭିନ୍ନ ଯବକାଚର କୌଣସି ସମାବେଶ ବର୍ଣ୍ଣ ବିପଥନ (chromatic aberration) ଦୂର କରିପାରିବ ନାହିଁ । ନିଉଟନ୍‌ଙ୍କର ଏହି ଗୋଟିକ ଭୁଲ ବହୁବର୍ଷ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଦୂରବୀକ୍ଷଣ ଯନ୍ତ୍ରର ଉନ୍ନତିରେ ପ୍ରତିବନ୍ଧକ ହୋଇଥିଲା । ୧୭୩୦ ମସିହାରେ କ୍ରାଉନ ଓ ଫ୍ଲିଣ୍ଟ କାଚର ଯବକାଚ ସବୁର ସମ୍ମିଶ୍ରଣରେ ହଲ୍ ଅନେକ ଅବର୍ଣ୍ଣକ ମିଶ୍ରଣ ତିଆରି କରିଥିଲେ; କିନ୍ତୁ ତାଙ୍କର ଏହି କାର୍ଯ୍ୟ ସେ ଛପାଇ ନ ଥିଲେ । ତେଣୁ ପ୍ରାୟ ୧୭୫୭ ମସିହାବେଳକୁ ଡୋଲାଣ୍ଡ ଯେତେବେଳେ ଅବର୍ଣ୍ଣକ ମିଶ୍ରଣ ଯବକାଚ ପୁଣି ଥରେ ଆବିଷ୍କାର କଲେ, ସେତେବେଳେ ସେ ସେଥିରେ ପେଟେଣ୍ଟ କରି ପାରିଥିଲେ — ଏହି ଉଦ୍ଭାବନ ପ୍ରାୟ ୬୫ବର୍ଷ ପୂର୍ବେ ନିଉଟନ୍‌ଙ୍କର ହାତମୁଠାରେ ରହିଥିଲା ।

ଆଲୋକର ପ୍ରକୃତି ସମ୍ବନ୍ଧରେ ନିଉଟନଙ୍କର ମତ କେବଳ ଇତିହାସର ସାମଗ୍ରୀ । ତାଙ୍କର ସମସାମୟିକ ହାଇଗେନ (୧୬୨୯—୧୬୯୫) ଏବଂ ହୁକ୍ (୧୬୩୫—୧୭୦୩) ଆଲୋକ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ତରଙ୍ଗବାଦ ପ୍ରଚାର କରିଥିଲେ । ୮୦ ହଜାର ପ୍ରତିଦ୍ୱନ୍ଦୀ ଭାବରେ ନିଉଟନ୍ ଏକ କଣାବାଦର ପ୍ରସ୍ତାବ କରି ଆଲୋକ ବିଜ୍ଞାନର ଅଗ୍ରଗତିରେ କିପରି ବାଧା ସୃଷ୍ଟି କରିଥିଲେ, ସେ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ବହୁତ କିଛି ଲେଖାଯାଇସାରିଛି । ଏହି କଣାବାଦକୁ ରକ୍ଷା

କରିବାପାଇଁ ନିଉଟନ୍ କେବେ ହେଲେ ରକ୍ଷଣଶୀଳ ପରି କାର୍ଯ୍ୟ କରିନଥିଲେ ! ୧୬୭୫ ମସିହାରେ "ଆଲୋକର ଗୁଣ ବୁଝାଇବା ପାଇଁ ଏକ ଅନୁମାନ" ନାମକ ରୟାଲ ସୋସାଇଟିକୁ ପଠାଇଥିବା ଗୋଟିଏ ପ୍ରବନ୍ଧରେ ନିଉଟନ୍ ଲେଖିଥିଲେ :

ମୁଁ ଏଠାରେ ଆପଣମାନଙ୍କୁ ଗୋଟିଏ ବିବରଣୀ ପଠାଇବା ଉଚିତ ମନେ କରୁଛି । ...ଏହି ଅନୁମାନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ... ଯଦିଓ ଏହି ଅନୁମାନ ବା ଅନ୍ୟ କୌଣସି ଅନୁମାନକୁ ଠିକ୍ ବୋଲି ଧରିନେଇ ପାରିବିନାହିଁ; ଲୋକମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଆଲୋକର ଯେଉଁ ଗୁଣସବୁ ଆବିଷ୍କୃତ ହୋଇଛି ସେଗୁଡ଼ିକ ଏହି ଅନୁମାନ ଦ୍ୱାରା ବା ଅନ୍ୟ କେଉଁ ଅନୁମାନଦ୍ୱାରା ବୁଝାଯାଇପାରିବ ସେଥି ସହିତ ମୋର ସମ୍ପର୍କ ନାହିଁ; ତଥାପି ମୁଁ ଯେତେବେଳେ ସ୍ୱାବର ସରଳତା ଦୃଷ୍ଟିରୁ ଏହି ଅନୁମାନକୁ ଠିକ୍ ବୋଲି ମନେ କଲାପରି କହିବି ।

ତାପରେ ସେ ବର୍ଣ୍ଣନା କରି କହିଲେ, "ଗୋଟିଏ ଇଥର ମାଧ୍ୟମ; ବହୁଗୁଣରେ ବାୟୁପରି ମାତ୍ର ତା'ଠାରୁ ପାତଳ, ସୂକ୍ଷ୍ମ ଏବଂ ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ଗୁଣରେ ଅଧିକ ଏବଂ ସେ କଳ୍ପନା କଲେ ଯେ...ଆଲୋକ ଇଥର ନୁହେଁ ବା ଏହାର ସ୍ପନ୍ଦିତ ଗତି ନାହିଁ; କିନ୍ତୁ ଭିନ୍ନ ପ୍ରକାରର କିଛି ସରଳ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କରୁ ଏହା ବାହାର ଆସିଥାଏ । ଯେଉଁମାନେ ସେପରି ଚିନ୍ତା କରିବେ ସେମାନେ ମନେ କରିବେ ଯେ ଏହା ବିଭିନ୍ନ ଗତିଶୀଳ ଗୁଣର ସମାହାର । ଅନ୍ୟମାନେ ମନେ କରିବେ ଯେ ଏହା କ୍ଷୁଦ୍ରାତିକ୍ଷୁଦ୍ର ବିଭିନ୍ନ ଆକାରବିଶିଷ୍ଟ ଅତି ବେଗଗାମୀ କଣା ସମଷ୍ଟି । ଯାହାକି ଉଜ୍ଜ୍ୱଳ ବସ୍ତୁମାନଙ୍କରୁ ଚମକି ଆସୁଥାଏ । ଏହି କଣାଗୁଡ଼ିକ ସର୍ବଦା ସରଳଭାବରେ ଆଗକୁ ଆଗକୁ ମାତ୍ର ଚାଲିଥାଏ । ପ୍ରଥମେ ଏଗୁଡ଼ିକର ଗତିରେ ତ୍ୱରଣ ଥାଏ, ପରେ ଯେତେବେଳେ ଇଥରର ବାଧା ସେହି କଣାଗୁଡ଼ିକରେ କାମ କରୁଥିବା ବଳ ସହିତ ସମାନ ହୋଇଯାଏ, ସେତେବେଳେ ଆଉ ଏହି ତ୍ୱରଣ ରହେନାହିଁ । ବହୁ ପରିମାଣରେ ଏହି ପ୍ରଣାଳୀ ଜଳ ମଧ୍ୟରେ ଖସି ପଡ଼ୁଥିବା ବସ୍ତୁର ଗତି ପରି । ଜଳର ବାଧା ମାଧ୍ୟାକର୍ଷଣ ବଳ ସହିତ ସମାନ ହେଲେ, ଖସିପଡ଼ୁଥିବା ବସ୍ତୁର ଗତିରୁ ତ୍ୱରଣ ହଟିଯାଏ ।

୧୭୦୪ ମସିହାରେ ନିଉଟନ ତାଙ୍କର ଅତି ଜଣାଶୁଣା ବହି "ଅପ୍ଟିକ" ପ୍ରକାଶ କଲେ । ଏହାର ଦ୍ୱିତୀୟ ସଂସ୍କରଣ ୧୭୧୮ ମସିହାରେ ବାହାରିଥିଲା । ତାଙ୍କର ପ୍ରଥମ ବାକ୍ୟ ଥିଲା, "ଏହି ପୁସ୍ତକରେ କୌଣସି ପ୍ରକଳ୍ପ ସାହାଯ୍ୟରେ ଆଲୋକର ଗୁଣଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରମାଣ

କରିବା ମୋର ଉଦ୍ଦେଶ୍ୟ ନୁହେଁ, ଯୁକ୍ତି ଓ ପରୀକ୍ଷାଦ୍ୱାରା ସେଗୁଡ଼ିକୁ ଉତ୍ଥାପନ କରି ପ୍ରମାଣ କରିବା ମୋର ଉଦ୍ଦେଶ୍ୟ ।" ସେ ପ୍ରତିଫଳନ, ପ୍ରତିସରଣ, ପାତଳ ସ୍ତରରେ ବର୍ଣ୍ଣିଗଣ ପ୍ରଭୃତି ବିଭିନ୍ନ ବିଷୟରେ ତାଙ୍କର ଗବେଷଣା ଚଳାଇ ବର୍ଣ୍ଣନା କରିଛନ୍ତି ଏବଂ ଉପସଂହାରରେ" "ଅନ୍ୟମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଅଧିକ ଗବେଷଣା ଲାଗି କେତେକ ପ୍ରଶ୍ନ ମଧ୍ୟ ଉତ୍ଥାପନ କରିଛନ୍ତି ।" ଗୋଟିଏ ପ୍ରଶ୍ନରେ ଆଲୋକର ତରଙ୍ଗବାଦ ପ୍ରତି ତାଙ୍କର ବିରୋଧ ସେ ପ୍ରକାଶ କରିଛନ୍ତି ।

"28. ଗୋଟିଏ ତରଳ ମାଧ୍ୟମରେ ଆଲୋକ ଏକ ତରଙ୍ଗ ଗତି ବୋଲି ଅନୁମାନ କରିବା ଭୁଲ ନୁହେଁ କି ? ଯଦି ଆଲୋକ କେବଳ ତରଙ୍ଗ ଗତି ହୁଏ, ପ୍ରକୃତରେ ଏଥିରେ କିଛି ଗତି କରେନାହିଁ, ପ୍ରତିଫଳନ ଓ ପ୍ରତିସରଣ ସମୟରେ ବସ୍ତୁରେ ଯେପରି ଚାପ ଓ ଆନ୍ଦୋଳନ ସୃଷ୍ଟି ହୁଏ, ସେପରି ସୃଷ୍ଟି ହୁଅନ୍ତାନାହିଁ ଏବଂ ଏହା ଛାୟା ମଧ୍ୟକୁ ବାଙ୍କିଯାଆନ୍ତା । କାରଣ, କୌଣସି ବାଧା ଅତିକ୍ରମ କରିବାପରେ କୌଣସି ତରଙ୍ଗ ଠିକ୍ ସରଳରେଖାରେ ଗତି କରି ପାରିବନାହିଁ · ବାଙ୍କିଯିବ ଏବଂ ବାଧାର ପୃଷ୍ଠଦେଶରେ ଥିବା ମାଧ୍ୟମରେ ଖେଳେଇ ହୋଇଯିବ ।"

ପାତଳ ଫିଲ୍ମ୍‌ର ବର୍ଣ୍ଣ ଆଜିକାଲି ତରଙ୍ଗବାଦର ସ୍ୱପକ୍ଷରେ ଗୋଟିଏ ପ୍ରଧାନ ଯୁକ୍ତି ଭାବରେ ଧରାଯାଉଅଛି । ସେହି ବର୍ଣ୍ଣ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ବୁଝାଇବାପାଇଁ ସେ କଳ୍ପନା କରିଥିଲେ ।

"କୌଣସି ପ୍ରତିସରଣ ତଳ ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଗଲାବେଳେ ଯେକୌଣସି ଆଲୋକରଶ୍ମି ଏକ କ୍ଷଣିକ ଅବସ୍ଥାରେ ଭୋଗନ୍ତରେ; ଏହି ଅବସ୍ଥାରେ ଥିବାବେଳେ ଏହା ସହଜରେ ପ୍ରତିସରିତ ହୋଇପାରେ ଓ ଏହି ଅବସ୍ଥାରେ ନଥିବାବେଳେ ଏହା ସହଜରେ ପ୍ରତିଫଳିତ ହୋଇଥାଏ ।"

ଏପରି କି ସେ କହିଥିଲେ, ଏହି ଅବସ୍ଥା "ରଶ୍ମି" ଦ୍ୱାରା ମାଧ୍ୟମର ବସ୍ତୁ ମଧ୍ୟରେ ଜାତ ହୋଇଥିବା ସ୍ପନ୍ଦନ ଫଳରେ ଘଟି ପାରିଥାଏ; ଏହି ସ୍ପନ୍ଦନ "ରଶ୍ମିଠାରୁ ଅଧିକ ବେଗରେ ଗତି କରି ତା'ଠାରୁ ଆଗେଇ ଯାଏ । ଯେତେବେଳେ କୌଣସି ରଶ୍ମି ଏହି ସ୍ପନ୍ଦନର ସମତାଳରେ ଥିବା ଅଂଶକୁ ଆସିଯାଏ, ସେତେବେଳେ ତାହା ସହଜରେ ପ୍ରତିସରିତ ହୋଇପାରେ; ମାତ୍ର ଯେତେବେଳେ ରଶ୍ମି ସ୍ପନ୍ଦନର ବିପରୀତଧର୍ମୀ ଅଂଶକୁ ଆସିଯାଏ, ସେତେବେଳେ ସହଜରେ ପ୍ରତିଫଳିତ ହୋଇଥାଏ । କିନ୍ତୁ ଏହି ଅନୁମାନ ଠିକ୍ କି ଭୁଲ୍ ମୁଁ ତାହା ବର୍ତ୍ତମାନ ବିଚାର କରୁନାହିଁ ।"

ନିଉଟନ ତାଙ୍କର କଣାବାଦକୁ ଏକ ପରୀକ୍ଷାମୂଳକ ମତ ବୋଲି ମନେ କରୁଥିଲେ; ଭବିଷ୍ୟତରେ ଅନ୍ୟ ପରୀକ୍ଷା ଦ୍ୱାରା ଏହାର ସତ୍ୟତା ପ୍ରତିପାଦିତ ହେବ ବୋଲି ସେ ବିଶ୍ୱାସ କରୁଥିଲେ । ଯଦି ତାଙ୍କର ଏହି ମତବାଦ ପ୍ରକୃତରେ ଆଲୋକ ବିଜ୍ଞାନର ଅଗ୍ରଗତିରେ ବାଧା ସୃଷ୍ଟି କରିଥାଏ, ତେବେ ତାଙ୍କର କଥାକୁ ଯେଉଁମାନେ ଅତ୍ୟଧିକ ପ୍ରାଧାନ୍ୟ ଦେଉଥିଲେ ସେହିମାନଙ୍କର ହିଁ ଦୋଷ ।

ନିଉଟନଙ୍କର ଏହି କଳ୍ପନା ଗୋଟିଏ ଉଦାହରଣସ୍ୱରୂପ କାର୍ଯ୍ୟ କରୁଛି । ଏପରି କି ସର୍ବଶ୍ରେଷ୍ଠ ବ୍ୟକ୍ତି ମଧ୍ୟ ତାଙ୍କର ଯୁଗର ଜ୍ଞାନ ଓ ଚିନ୍ତାଧାରା ଦ୍ୱାରା ପ୍ରଭାବିତ ହୋଇ କାର୍ଯ୍ୟ କରିଛନ୍ତି । ଯଦି ନିଉଟନ ଏକ ଶତାବ୍ଦୀ ପରେ ଜନ୍ମିଥାନ୍ତେ, ତେବେ ବୋଧହୁଏ ତରଙ୍ଗବାଦରେ ବିଶ୍ୱାସ କରିଥିବା ବୈଜ୍ଞାନିକମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଅଗ୍ରଗଣ୍ୟ ହୋଇଥାନ୍ତେ । ଶ୍ରେଷ୍ଠ ବୈଜ୍ଞାନିକମାନେ ତାଙ୍କ ସମୟରେ ଚିନ୍ତାଧାରାର ପରିସୀମା ଦ୍ୱାରା ପ୍ରଭାବିତ ହୋଇ ଥିବାରୁ ତାଙ୍କର ପ୍ରକଳ୍ପିତ ମତବାଦକୁ ଅଧିକ ପରୀକ୍ଷା ଦ୍ୱାରା ଗ୍ରହଣ କରିବା ଉଚିତ ।

ଆଲୋକ ବିଜ୍ଞାନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ନିଉଟନ ଯେତିକି କାମ କରିଥିଲେ, କେବଳ ସେତିକି ପାଇଁ ତାଙ୍କର ସମସାମୟିକ ବୈଜ୍ଞାନିକମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ତାଙ୍କୁ ଉଚ୍ଚ ଆସନ ଦିଆଯାଇ ପାରନ୍ତା । କିନ୍ତୁ ଯାନ୍ତ୍ରିକରେ ତାଙ୍କ କାର୍ଯ୍ୟର ମୂଲ୍ୟ ଏହାଠାରୁ ଅଧିକ । "ପ୍ରତ୍ୟେକ ବସ୍ତୁକଣା ବିଶ୍ୱରେ ଅନ୍ୟ ପ୍ରତ୍ୟେକ ବସ୍ତୁକଣାକୁ ଯେଉଁ ବଳଦ୍ୱାରା ଆକର୍ଷଣ କରେ, ତାହା ଦୁଇ ବସ୍ତୁକଣା ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ବ୍ୟବଧାନର ପ୍ରତିଲୋମବର୍ଗାନୁପାତୀ ।" ଏହି ନିୟମର ପ୍ରତିପାଦନ ଏବଂ ସୂର୍ଯ୍ୟ ଚାରିପଟେ ଗ୍ରହମାନଙ୍କର ଗତି ଓ ଗ୍ରହମାନଙ୍କ ଚାରିପଟେ ଉପଗ୍ରହ-ମାନଙ୍କର ଗତିକୁ ଏହି ଗୋଟିଏ ନିୟମ ନିୟନ୍ତ୍ରିତ କରୁଛି ବୋଲି ଦେଖାଇବା ଦ୍ୱାରା ସେ ପୃଥିବୀକୁ ଯେଉଁ ସତ୍ୟ ଦେଲେ ତାହା ଚିନ୍ତାଜଗତରେ ପ୍ରବଳ ଆଲୋଡ଼ନ ସୃଷ୍ଟି କରିଥିଲା । ନିଉଟନ୍‌ଙ୍କର ଏହି ସଫଳତା ଗୋଟିଏ ସାଧାରଣ ବିଶ୍ୱାସ ସୃଷ୍ଟି କଲା ଯେ ସାରା ବିଶ୍ୱ ଏକ ନିୟମ ଅନୁସାରେ ଚାଲୁଛି; ଏହା କୌଣସି ଖିଆଲରେ ଚାଲୁନାହିଁ ।

ମହାକର୍ଷଣ ନିୟମର ଆବିଷ୍କାର କିପରି ହେଲା, ତାହା ନିଉଟନ ନିଜେ ଆମକୁ କହି ଯାଇଛନ୍ତି । ପ୍ରଥମେ ଦୁଇଟି ବସ୍ତୁ ଯେପରି କି ସୂର୍ଯ୍ୟ ଓ ପୃଥିବୀ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ଆକର୍ଷଣ ନିୟମ, ସେ ବାହାର କରିବାକୁ ଚେଷ୍ଟା କଲେ; ଏହି ନିୟମରୁ ଯେପରି କେପଲର୍‌ଙ୍କର ତୃତୀୟ ନିୟମଟି ବାହାରିବାର ସେ ସହାୟତା କଲେ । ସେ ଦେଖିଲେ ଯେ ମହାକର୍ଷଣ

ବଳ ଯଦି ଦୂରତାର ପ୍ରତି ଲୋମ ବର୍ଗ ଅନୁସାରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୁଏ, ତେବେ ଗ୍ରହ ଜଗତରେ ଏହି ନିୟମ ମିଳିପାରୁଛି । ତାପରେ ସେ ଦେଖିଲେ ଯେ ଏହି ପ୍ରତିଲୋମ ବର୍ଗ ନିୟମ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ପରୀକ୍ଷା କରିବା ପାଇଁ ଭୂପତିତ ବସ୍ତୁର ତ୍ୱରଣ ସହିତ ଚନ୍ଦ୍ରର ପୃଥିବୀଆଡ଼କୁ ଥିବା ତ୍ୱରଣର ତୁଳନା କରାଯାଇପାରିବ । ଚନ୍ଦ୍ର ଓ ପୃଥିବୀ ମଧ୍ୟରେ ଦୂରତା ପୃଥିବୀର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧର ପ୍ରାୟ ୬୦ଗୁଣ ବୋଲି ଜଣା ଥିଲା । ତେଣୁ ପ୍ରତିଲୋମ ବର୍ଗ ନିୟମ ଅନୁସାରେ ଚନ୍ଦ୍ର ପୃଥିବୀ ଆଡ଼କୁ 1 ସେକେଣ୍ଡରେ $\frac{1}{60^2}$ ପରିମାଣରେ "ଖସି ପଡ଼ନ୍ତା" ଠିକ୍ ଯେଉଁ ପରିମାଣରେ ପୃଥିବୀ ପୃଷ୍ଠରେ 1 ସେକେଣ୍ଡରେ କୌଣସି ବସ୍ତୁ ଖସିପଡ଼େ । ଉପରୋକ୍ତ ଦୂରତା ପରିମାଣ 16 ଫୁଟ ବୋଲି ଭୂପତିତ ବସ୍ତୁରେ ପରୀକ୍ଷା କରି ଜଣାଯାଇଅଛି । ତେଣୁ ପୂର୍ବୋକ୍ତ ଦୂରତା $\frac{16}{60^2}$ ଫୁଟ ବା 1 ମିନିଟରେ 16 ଫୁଟ । କିନ୍ତୁ ସେ ଯେଉଁ ସୂତ୍ର ବ୍ୟବହାର କରି ଗ୍ରହମାନଙ୍କର କକ୍ଷରେ ସେମାନଙ୍କର ଗତି ନିରୂପଣ କରିଥିଲେ, ଚନ୍ଦ୍ରର ତ୍ୱରଣ ମଧ୍ୟ ସେହି ନିୟମ ଦ୍ୱାରା ସରଳ ପ୍ରୟୋଗରେ ନିରୂପଣ କରାଯାଇପାରିବ । ଯଥା —

$$a = \frac{v^2}{r} = 4\pi^2 \frac{r}{T^2}$$

ଏଠାରେ v = ସ୍ୱୀୟ କକ୍ଷରେ ଚନ୍ଦ୍ରର ଗତିବେଗ

T = ପୃଥିବୀ ପରିପଟେ ଚନ୍ଦ୍ର ଗତିର କାଳ

r = ଚନ୍ଦ୍ର କକ୍ଷର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ

ବର୍ତ୍ତମାନ r ପୃଥିବୀର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧର 60 ଗୁଣ ସହିତ ସମାନ । ସେତେବେଳେ ପୃଥିବୀର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ 3436 ମାଇଲ, କାରଣ ଗୋଟିଏ ଦ୍ରାଘିମା ଡିଗ୍ରୀକୁ 60 ମାଇଲ ବୋଲି ମନେ କରାଯାଉଥିଲା । ଏହି ହିସାବ ଅନୁସାରେ ଚନ୍ଦ୍ର ପୃଥିବୀ ଆଡ଼କୁ 1 ମିନିଟରେ 13·9 ଫୁଟ "ଖସି ପଡ଼ିଲା"; ପ୍ରତିଲୋମ ବର୍ଗ ନିୟମ ଅନୁସାରେ 16 ଫୁଟ ହେବା କଥା ।

ସେତେବେଳକୁ ନିଉଟନଙ୍କର ବୟସ ମାତ୍ର 23 ବର୍ଷ । ସେ ଏହି ହିସାବକୁ ଆଡେଇ ରଖିଦେଲେ, କେଉଁଠାରେ ହେଲେ ପ୍ରକାଶ କଲେନାହିଁ । ଏହାର କେତେକବର୍ଷ ପରେ ଗୋଟିଏ ଦ୍ରାଘିମା ଡିଗ୍ରୀର ଦୈର୍ଘ୍ୟର ଅଧିକ ସୂକ୍ଷ୍ମ ଗଣନା ପାଇଲେ । ଏହି ପରିମାଣ ପ୍ରାୟ 70 ମାଇଲ ବୋଲି ପିକାଡ଼୍ ସ୍ଥିର କଲେ । ଏତେବେଳକୁ ନିଉଟନ୍ ପ୍ରମାଣ କରି

ପାରିଥିଲେ ଯେ ଗୋଟିଏ ସମସାନ୍ଦ୍ରବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଲକର ଗୋଟିଏ ବାହ୍ୟବସ୍ତୁକୁ ଯେଉଁ ପରିମାଣରେ ଆକର୍ଷଣ କରିବ, ଏଥିରେ ସମସ୍ତ ଦ୍ରବ୍ୟ ଏହାର କେନ୍ଦ୍ରଠାରେ ଅବସ୍ଥିତ ହେଲେ, ସେହି ପରିମାଣରେ ଆକର୍ଷଣ କରିବ । ଏହାଦ୍ୱାରା ତାଙ୍କର ପୂର୍ବ ହିସାବରେ ଗୋଟିଏ ଅନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ କଥା ଦୂର ହୋଇଗଲା । ପିକାର୍ଡ଼ଙ୍କ ମୂଲ୍ୟ ନେଇ ନିଉଟନ ତାଙ୍କର ବହୁ ପୂର୍ବ ହିସାବକୁ ପୁଣି ଥରେ ଦେଖିଲେ । ଆନନ୍ଦର ସହିତ ସେ ଦେଖିଥିଲେ ଯେ ଏହା ପୃଥିବୀଆଡ଼କୁ 1 ମିନିଟ୍‌ରେ 16 ଫୁଟ ହିସାବରେ ଖସୁଛି; ଠିକ୍ ଏହି ମୂଲ୍ୟ ପ୍ରତି ଲୋମ-ବର୍ଗ ନିୟମରୁ ଜଣା ପଡ଼ିଥିଲା । ଶେଷରେ ସେ ମହାକର୍ଷଣ ନିୟମ ଆବିଷ୍କାର କରିଥିଲେ ଓ ଏହା ସାହାଯ୍ୟରେ କେପଲର୍‌ଙ୍କର ତିନୋଟି ଦାନ ନିୟମ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରିଥିଲେ ।

୧୬୮୩ ମସିହାରେ ରୟାଲ ସୋସାଇଟି ନିଉଟନଙ୍କର ଗତି ଓ ମହାକର୍ଷଣ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଗବେଷଣାଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରକାଶ ପାଇଁ ଅନୁମତି ମାଗିଥିଲେ । ସେତେବେଳେ ନିଉଟନ ତାଙ୍କୁ ଏହି ଫଳଗୁଡ଼ିକ ଏବଂ ଗ୍ରହମାନଙ୍କ ଗତି ସମ୍ବନ୍ଧରେ ପ୍ରସ୍ତାବମାନ ଦେଇଥିଲେ । ୧୬୮୭ ମସିହାରେ ପ୍ରବନ୍ଧ ପୁସ୍ତକର "Philosophiae Naturalis Principia Mathematica "ପ୍ରାକୃତିକ ଦର୍ଶନର ଗାଣିତିକ ନୀତି'ର ପ୍ରଥମ ମୁଦ୍ରଣ ହୋଇଥିଲା । ଏହି ଗ୍ରନ୍ଥଟି ତିନିଭାଗରେ ବିଭକ୍ତ ହୋଇଛି; ପ୍ରତି ଭାଗର ବିଷୟବସ୍ତୁ ସାମାନ୍ୟକଥନ, ପ୍ରାମାଣ୍ୟ ଓ ଅନୁସିଦ୍ଧାନ୍ତମାଳାରେ ସଜ୍ଜା ଯାଇଛି । ପ୍ରଥମ ଦୁଇଖଣ୍ଡ ବହିରେ ବସ୍ତୁଗୁଡ଼ିକର ଗତି ସମ୍ବନ୍ଧରେ ସାଧାରଣ ପ୍ରାମାଣ୍ୟଗୁଡ଼ିକ ଆଲୋଚିତ ହୋଇଅଛି ଏବଂ ତୃତୀୟଟିରେ ସୌରଜଗତରେ ଏହାର ପ୍ରୟୋଗ କରାଯାଇଅଛି । ସମସ୍ତ ଗ୍ରନ୍ଥରେ ମହାକର୍ଷଣ ନିୟମ ପ୍ରତିପାଦନ କରି ତାର ସ୍ପଷ୍ଟୀକରଣ କରାଯାଇଅଛି; ମାତ୍ର ଏହି ନିୟମର କାରଣ ସମ୍ବନ୍ଧରେ କିଛି ଅନୁମାନ କରାଯାଇନାହିଁ; ଲେଖକ ନିଜେ ଏହି କଥା ସ୍ପଷ୍ଟଭାବରେ ଦର୍ଶାଇ ଦେଇଛନ୍ତି ।

ନିଉଟନଙ୍କର ଗତି ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ବିଖ୍ୟାତ ନିୟମ ତିନୋଟିକୁ ସ୍ୱତଃସିଦ୍ଧ ବୋଲି ସେହି ଗ୍ରନ୍ଥରେ ଧରି ନିଆଯାଇଅଛି ଏବଂ ଯାନ୍ତ୍ରିକରେ ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ପ୍ରଧାନ ପ୍ରୟୋଗ ସବୁ କରାଯାଇଛି । ଏଥିରେ ବସ୍ତୁତ୍ୱ (mass) ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଧାରଣା ଦିଆଯାଇଅଛି ଏବଂ ଅନେକ ଗୁଡ଼ିଏ ପରୀକ୍ଷା ବର୍ଣ୍ଣନା କରି ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି ଯେ ପେଣ୍ଡୁଲମ ବା ଦୋଳକର ଦୋଳନକାଳ ଦୋଳକ କେଉଁ ପଦାର୍ଥରେ ତିଆରି ତା ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେନାହିଁ ।

ଏଥିରୁ ସେ ସିଦ୍ଧାନ୍ତରେ ପହଞ୍ଚିଲେ ଯେ ବସ୍ତୁର ଓଜନ ପରସ୍ପର ପ୍ରତି ଅନୁପାତୀ । ବଳ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ସେ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଧାରଣା ଦେଲେ ଏବଂ ବଳର ସାମାନ୍ତରିକ ନୀତି ସମ୍ବନ୍ଧରେ ସାଧାରଣ ଭାବରେ ସୂଚ ପ୍ରଣୟନ କରିଥିଲେ ।

ନିଉଟନଙ୍କର କଳନ ପ୍ରଣାଳୀର ଉଦ୍ଭାବନ ଓ ଅତି ଶିକ୍ଷାପ୍ରଦ ବିବିଧ ଲେଖା, ତାଙ୍କର ସମସାମୟିକ ବୈଜ୍ଞାନିକମାନଙ୍କ ସଙ୍ଗେ ଇଚ୍ଛା ବିରୁଦ୍ଧରେ ନିଜର ବୈଜ୍ଞାନିକ ଗବେଷଣାକୁ ରକ୍ଷା କରିବାପାଇଁ କରିଥିବା ବାଦାନୁବାଦ ଆଲୋଚନା କରିବାପାଇଁ ଆମେ ଏଠାରେ ସ୍ଥାନ ଦେଇପାରିବା ନାହିଁ । ଏହି ବିଶ୍ୱବିଖ୍ୟାତ ବୈଜ୍ଞାନିକଙ୍କର ଜୀବନୀ ଓ କାର୍ଯ୍ୟ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଅଧିକ ଅଧ୍ୟୟନ କରିବାପାଇଁ ଆମେ ପାଠକଙ୍କୁ କେବଳ ଉତ୍ସାହିତ କରିପାରିବା।

1·16 ନିଉଟନଙ୍କର ସମସାମୟିକ ବୈଜ୍ଞାନିକଗଣ :

ପ୍ରାୟ ୧୭୦୦ ମସିହାବେଳକୁ ନିଉଟନଙ୍କ ଜୀବନର ପ୍ରକୃତ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ସମୟର ଶେଷ ହୋଇଥିଲା । ତାଙ୍କର ଜୀବନୀ ଏପରି ପ୍ରୀତି ଓ ଉତ୍ସାହପ୍ରଦ ଯେ ଏହା ପାଠକଲେ ତାଙ୍କର ସମସାମୟିକ ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ବୈଜ୍ଞାନିକମାନଙ୍କର ଜୀବନୀ ଆଲୋଚନା କରିବାକୁ ବ୍ୟଗ୍ରତା ଆସିବ । ଏହି ବୈଜ୍ଞାନିକମାନେ ମଧ୍ୟ ଖ୍ୟାତନାମା । ରବର୍ଟ ବଏଲ (୧୬୨୭—୧୬୯୧) ବଏଲ ନିୟମ ଆବିଷ୍କାର କରିଥିଲେ । କ୍ରିଷ୍ଟିୟାନ ହାଇଗେନ୍‌ସ (୧୬୨୯—୧୬୯୫)ଙ୍କର ତରଙ୍ଗବାଦ ପ୍ରାୟ ୧୫୦ ବର୍ଷ ପରେ ବିଜୟ ମଣ୍ଡିତ ହୋଇଥିଲା । ଏହାଙ୍କର ଅନ୍ୟାନ୍ୟ କାର୍ଯ୍ୟମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ କୋଣିକ୍, ସମ୍ଭାବନା ତତ୍ତ୍ୱ (Theory of probability), ଦୋଳକ ଘଡ଼ି, ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଏବଂ ଅଣୁବୀକ୍ଷଣ ଯନ୍ତ୍ର ଓ ଦୂରବୀକ୍ଷଣ ଯନ୍ତ୍ରର ଉନ୍ନତି ପ୍ରଧାନ । ରବର୍ଟ ହୁକ୍ (୧୬୩୫—୧୭୦୩) ତରଙ୍ଗବାଦ ଓ ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକତାରେ ହୁକ୍ ନିୟମ ପ୍ରତିପାଦନ କରିଥିଲେ । ଲିବ୍‌ନିଜ୍ (୧୬୪୬—୧୭୧୬)ଙ୍କର କଳନ ପ୍ରଣାଳୀ ଶେଷରେ ନିଉଟନଙ୍କ କଳନ ପ୍ରଣାଳୀ ପରିବର୍ତ୍ତେ ପ୍ରଚଳିତ ହୋଇଥିଲା । କିନ୍ତୁ ଏହି ପୁସ୍ତକର ପ୍ରଧାନ କାର୍ଯ୍ୟ ଆଧୁନିକ ଭୌତିକୀ ହୋଇଥିବାରୁ ଅଷ୍ଟାଦଶ ଶତାବ୍ଦୀରେ ଭୌତିକୀରେ କେଉଁ କେଉଁ ଉନ୍ନତି ହୋଇଥିଲା, ତା'ର ସଂକ୍ଷିପ୍ତ ଆଲୋଚନା କରିବାକୁ ଅଗ୍ରେଇଯିବା ।

1.17 ଅଷ୍ଟାଦଶ ଶତାବ୍ଦୀରେ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ :

ଏହାପରେ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀର ଇତିହାସ ନିଉଟନ୍‌ଙ୍କର ଉକ୍ତ ଗତି ନିୟମରୁ ବିଭିନ୍ନ ଉପସିଦ୍ଧାନ୍ତ ସବୁ ଉତ୍ପାଦନ କରିବାର ବିବରଣୀ । ଏହି ଉପସିଦ୍ଧାନ୍ତଗୁଡ଼ିକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଉଦ୍ଦେଶ୍ୟରେ ସୁବିଧା ଦୃଷ୍ଟିରୁ ନିଆଯାଇଥାଏ ଏବଂ ବିଭିନ୍ନ ପ୍ରଶ୍ନର ସମାଧାନରେ ସାହାଯ୍ୟ କରିଥାଏ । ପ୍ରଧାନ କର୍ମୀମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଆମେ ପାଉ ଡାନିଏଲ ବର୍ଣ୍ଣୌଲି (୧୭୦୦—୧୭୮୨), ଅଏଲର୍ (୧୭୦୭—୧୭୮୩) ଏବଂ ଲଗ୍ରାଞ୍ଜ (୧୭୩୬—୧୮୧୩) । ବର୍ଣ୍ଣୌଲି ଜଳସ୍ଥିତିକୀ, ଗ୍ୟାସର ଗତିବାଦ, ଦଣ୍ଡର ଅନୁପ୍ରସ୍ଥ ସ୍ପନ୍ଦନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଗବେଷଣା କରିଥିଲେ । ଅଏଲର୍ ବର୍ଣ୍ଣୌଲିଙ୍କ ସଙ୍ଗେ ମିଶି କୋଣୀୟ ସଂବେଗର ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମ ଆବିଷ୍କାର କରିଥିଲେ । ଲଗ୍ରାଞ୍ଜ ତାଙ୍କ ନାମାନୁସାରେ ନାମିତ ସମୀକରଣ ଦେଇଥିଲେ । ଏହି ସମୀକରଣ ସାହାଯ୍ୟରେ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀର ଯେକୌଣସି ପ୍ରଶ୍ନ ଯେକୌଣସି ଅକ୍ଷପ୍ରଣାଳୀରେ ସମାଧାନ କରିହେବ ।

1.18 ଅଷ୍ଟାଦଶ ଶତାବ୍ଦୀରେ ତାପ :

ଗାଲିଲିଓ ୧୫୯୭ ମସିହାରେ ଗୋଟିଏ ବାୟୁ ତାପମାନଯନ୍ତ୍ର ଉଦ୍ଭାବନ କରିଥିଲେ । ୧୬୪୩ରେ କିଚର ପ୍ରଥମ ପାରଦ ତାପମାନ ଯନ୍ତ୍ର ବ୍ୟବହାର କଲେ । ପ୍ରାୟ ୧୭୨୪ ବେଳକୁ ଫାରେନ୍‌ହାଇଟ୍ ତାପମାନର ଯେଉଁ ସ୍କେଲ ବ୍ୟବହାର କଲେ, ତାହା ଏବେ ମଧ୍ୟ ତାଙ୍କ ନାମରେ ନାମିତ । ଏହାପରେ ରିଉମର ସ୍କେଲ ଓ ୧୭୪୨ରେ ସେଲ୍‌ସିଅସ୍ ସ୍କେଲ ବ୍ୟବହୃତ ହେଲା । ଗ୍ଲାସ୍‌ଗୋ ଓ ଏଡ଼ିନବର୍ଗର କେମିଷ୍ଟ୍ରି ପ୍ରଫେସର ଜୋସେଫ୍ ବ୍ଲାକ (୧୭୨୮—୧୭୯୯) ଜଳର ବାଷ୍ପୀକରଣ ଓ ଘନୀକରଣ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ମାପ କରିଥିଲେ । ତାଙ୍କର ଏହି କାର୍ଯ୍ୟରୁ ଆଧୁନିକ କାଲରିମିତିର ଜନ୍ମ ଏବଂ ଏହା ଏଥି ପୂର୍ବରୁ ଥିବା ତାପ (Heat) ଓ/ତାପମାତ୍ରା (temperature) ମଧ୍ୟରେ ଅସ୍ପଷ୍ଟ ଧାରଣାକୁ ସ୍ପଷ୍ଟ କରି ଦେଇଛି ।

ତାପର ତତ୍ତ୍ୱ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଏହି ଅଷ୍ଟାଦଶ ଶତାବ୍ଦୀରେ ପଶ୍ଚାଦ୍‌ଗତି ହୋଇଥିଲା । ନିଉଟନଙ୍କ ଲେଖାରୁ ସ୍ପଷ୍ଟ ମନେ ହୁଏ ଯେ ବସ୍ତୁରେ ଥିବା କ୍ଷୁଦ୍ରକଣାଗୁଡ଼ିକର ଗତି ସହିତ ତାପ ଘନିଷ୍ଠ ଭାବରେ ଜଡ଼ିତ ବୋଲି ସେ ମନେ କରୁଥିଲେ । ତାଙ୍କର ସମସାମୟିକ ବୈଜ୍ଞାନିକମାନେ ମଧ୍ୟ ଏହି ମତ ଗ୍ରହଣ କରିଥିଲେ । କିନ୍ତୁ ଅଷ୍ଟାଦଶ ଶତାବ୍ଦୀର ଆରମ୍ଭରେ

ପୁଙ୍ଗ କ୍ୟାଲର ମତବାଦକୁ ଲୋକେ ଫେରିଗଲେ । ଏହାଦ୍ୱାରା ତାପ ଗୋଟିଏ ତରଳ ପଦାର୍ଥ ଏବଂ ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁରେ ଏହା ଯୋଗ କରିବା ଦ୍ୱାରା ବା ସେଥିରୁ ଏହା କାଢ଼ି ନେବାଦ୍ୱାରା ବସ୍ତୁର ତାପମାତ୍ରାରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୋଇଥାଏ । ଏହି ତରଳ ପଦାର୍ଥ ନଷ୍ଟ ହୁଏନାହିଁ; ଏହାର କଣାଗୁଡ଼ିକ ପରସ୍ପରକୁ ବିକର୍ଷଣ କରନ୍ତି, ମାତ୍ର ସାଧାରଣ ବସ୍ତୁଦ୍ୱାରା ଆକର୍ଷିତ ହୁଅନ୍ତି ଏବଂ ଏହା ସର୍ବବ୍ୟାପୀ । କୌଣସି ବସ୍ତୁ ମଧ୍ୟରେ ଏହି ତରଳ ପଦାର୍ଥର ପରିମାଣ ବେଶୀ ହେଲେ ତାହା ଫୁଲି ଉଠେ, ତେଣୁ ବସ୍ତୁ ପ୍ରସାରିତ ହୋଇଥାଏ । ଘର୍ଷଣବେଳେ ତାପଜାତ ହେବାର କାରଣ ବସ୍ତୁ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରାକୃତିକ ପ୍ରଣାଳୀରେ ଜମି ରହିଥିବା ଏହି ତରଳ ପଦାର୍ଥ ଖସି ଆସିବା ବା ମୁକ୍ତ ହେବା । ଏହି ମତବାଦ ଅନୁସାରେ ବ୍ଲାକ ଗୁପ୍ତ ତାପ ଓ ବିଶିଷ୍ଟ ତାପ ବୁଝାଇ ପାରିଥିଲେ । ପ୍ରକୃତରେ ଅଷ୍ଟାଦଶ ଶତାବ୍ଦୀର ଶେଷବେଳକୁ କ୍ୟାଲର ମତବାଦ ବିଶେଷ ଭାବେ ଗୃହୀତ ହୋଇଥିଲା ।

1.19 ଅଷ୍ଟାଦଶ ଶତାବ୍ଦୀରେ ଆଲୋକ :

୧୭୨୮ ମସିହାରେ ବ୍ରାଡ୍‌ଲେ ଆଲୋକର ବିପଥନ ଆବିଷ୍କାର କରିଥିଲେ । ବିଜ୍ଞାନର ଇତିହାସରେ ଏହି ଘଟଣାର ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ପ୍ରାଧାନ୍ୟ ରହିଛି । ଜ୍ୟୋତିଷ୍କ- ଲମ୍ବନ— ମାପର ଅଭାବ କୁପରନିକସ୍ ପ୍ରଣାଳୀର ପ୍ରଧାନ ପ୍ରତିବନ୍ଧକ ଥିଲା, ତେଣୁ ଏହା ଜ୍ୟୋତିଷ ଶାସ୍ତ୍ରର ଏକ ପ୍ରଧାନ ସମସ୍ୟା ହୋଇ ରହିଥିଲା । ଟାଇକୋ ବ୍ରାହେ ଜାଣିଥିଲେ ଯେ ପୃଥିବୀର କକ୍ଷର ବିପରୀତ ଦିଗରୁ ଲକ୍ଷ୍ୟ କଲେ ତାରକା ସ୍ଥାନାନ୍ତରିତ ହେବାପରି ଦେଖାଯିବ । ମାତ୍ର ବହୁ ସାବଧାନ ହୋଇ ଲକ୍ଷ୍ୟ କରି ମଧ୍ୟ ସେ ନିଃସନ୍ଦେହ ହେଲେ ଯେ ୧ ଡିଗ୍ରୀ ଗ୍ରୂପ ପରିମାଣରୁ ଏହି ସ୍ଥାନାନ୍ତରିତ ପରିମାଣ କମ୍ ହେବ । ଏହା ପରେ ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷକମାନେ ଏହିପରି ସ୍ଥାନାନ୍ତରିତ ପରିମାଣ ମାପ କରିବା ପାଇଁ ବୃଥା ଚେଷ୍ଟା କରିଥିଲେ ।

ଜ୍ୟୋତିଷ୍କମାନଙ୍କର ବ୍ୟବଧାନ ମାପ କରିବାକୁ ଆଶା କରି ବ୍ରାଡ୍‌ଲେ ୧୭୨୫ ମସିହାରେ ଶୀର୍ଷବିନ୍ଦୁ ନିକଟରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ ତାରକା γ ଡ୍ରାକୋନିସ୍‌ର ଅବସ୍ଥାନ ଶୃଙ୍ଖଳିତ ଭାବରେ ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣ କଲେ । ଯଦି ଜ୍ୟୋତିଷ୍କ ଲମ୍ବନ ଥାଏ, ତେବେ ଏହି ତାରକା ଡିସେମ୍ବର ମାସରେ ତାର ଦକ୍ଷିଣତମ ସ୍ଥାନରେ ଅବସ୍ଥାନ କରିବ ଓ ତାପରେ ଉତ୍ତରକୁ ଘୁଞ୍ଚି ଘୁଞ୍ଚି ୬ମାସ ପରେ ଉତ୍ତରତମ ସ୍ଥାନରେ ଦେଖାଯିବ । ଏହି ତାରକାର

ଅବସ୍ଥାନରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହେବାର ଦେଖାଗଲା, ମାତ୍ର ଯେପରି ଆଶା କରାଯାଉଥିଲା, ସେପରି ହେଲାନାହିଁ । ଏହା ମାର୍ଚ୍ଚ ମାସରେ ଦକ୍ଷିଣତମ ସ୍ଥାନରେ ପହଞ୍ଚିଲା ଏବଂ ଉତ୍ତରତମ ସ୍ଥାନରେ ସେପ୍ଟେମ୍ବରରେ ପହଞ୍ଚିଲା । ଏହି ଦୁଇ ଅବସ୍ଥାନ ମଧ୍ୟରେ କୋଣୀୟ ଦୂରତା ହେଲା ପ୍ରାୟ ୪୦ ସେକେଣ୍ଡ ଚାପ । ବ୍ରାଡ୍‌ଲେ ଅନ୍ୟ ତାରକାମାନଙ୍କ ଉପରେ ତାଙ୍କର ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣ ଚଳାଇଲେ । ୧୭୨୮ ମସିହାରେ ସେ ସିଦ୍ଧାନ୍ତରେ ପହଞ୍ଚିଲେ ଯେ ଦେଖା ଯାଉଥିବା ସ୍ଥାନାନ୍ତରଣ କେବେ ହେଲେ ଲମ୍ବନ ଫଳରେ ହେଉନାହିଁ: ଆଲୋକର ଗତି ବେଗ ସହିତ ପୃଥିବୀ କକ୍ଷରେ ଏହାର ଗତିବେଗର ମିଶ୍ରଣ ଫଳରେ ଏହି ସ୍ଥାନାନ୍ତରଣ ସମ୍ଭବ ହେଉଛି । ଏଥିରୁ ସେ ଆଲୋକର ଗତିବେଗର ଏକ ମୂଲ୍ୟ ନିର୍ଦ୍ଧାରଣ କଲେ । ଏହାର ଅର୍ଦ୍ଧ ଶତାବ୍ଦୀ ପୂର୍ବରୁ ରୁମର୍ ବୃହସ୍ପତିର ଉପଗ୍ରହମାନଙ୍କର ଗତି ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣ କରି ଆଲୋକ ଗତିବେଗ ନିରୂପଣ କରିଥିଲେ । ଏହାହିଁ ଆଲୋକର ଗତିବେଗର ପ୍ରଥମ ନିର୍ଦ୍ଧାରଣ । ବ୍ରାଡଲେଙ୍କର ନିର୍ଦ୍ଧାରିତ ମୂଲ୍ୟ ଏହି ମୂଲ୍ୟ ସହିତ ମିଶିଯାଇଥିଲା । ଆଧୁନିକ ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱର ମୂଳକଥା ଯେଉଁ ଆବିଷ୍କାରଗୁଡ଼ିକ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ ବ୍ରାଡ୍‌ଲେଙ୍କ ଆବିଷ୍କାର ସେଥିରେ ପ୍ରଥମ ।

ତାପର ତତ୍ତ୍ୱ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଯେପରି କୌଣସି ସିଦ୍ଧାନ୍ତମୂଳକ ପରୀକ୍ଷାର ଅଭାବରୁ ଅଗ୍ରଗତି ସମ୍ଭବ ହୋଇ ନଥିଲା; ଆଲୋକତତ୍ତ୍ୱ କ୍ଷେତ୍ରରେ ମଧ୍ୟ ଅଷ୍ଟାଦଶ ଶତାବ୍ଦୀରେ ସେପରି କୌଣସି ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ଅଗ୍ରଗତି ସମ୍ଭବ ହୋଇ ନଥିଲା । କେବଳ କଳ୍ପନା ଫଳରେ ବିଜ୍ଞାନର ସାମାନ୍ୟମାତ୍ର ଅଗ୍ରଗତି ହୁଏନାହିଁ ।

1.20 ଅଷ୍ଟାଦଶ ଶତାବ୍ଦୀରେ ବିଦ୍ୟୁତ :

ଅଷ୍ଟାଦଶ ଶତାବ୍ଦୀରେ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ବହୁ ଲୋକଙ୍କୁ ଆକର୍ଷଣ କରିଥିଲା; ମାତ୍ର ଏହି ଗବେଷଣା ପ୍ରଧାନତଃ ସ୍ଥିର ବିଦ୍ୟୁତରେ ଆବଦ୍ଧ ଥିଲା । ଷ୍ଟିଫେନ୍ ଗ୍ରେ (୧୬୭୦ – ୧୭୩୬) ସୁପରିବାହୀ ଓ କୁପରିବାହୀମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ପାର୍ଥକ୍ୟ ଦର୍ଶାଇଥିଲେ ଏବଂ ସେ ଦେଖାଇ ଦେଇଥିଲେ ଯେ ସୁପରିବାହୀକୁ ରୋଧିତ କରିଦେଲେ ସେଥିରେ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ସମାବେଶ କରି ହେବ । ଡୁ ଫେ (୧୬୯୮—୧୭୩୯) ଦେଖାଇଲେ ଯେ ଅଗ୍ନିଶିଖାର ବିଦ୍ୟୁତ୍ ବିସର୍ଜନ ଶକ୍ତି ରହିଛି ଏବଂ ଦୁଇପ୍ରକାର ବିଦ୍ୟୁତ୍ ଅଛି—ଗୋଟିଏ ଭିଟ୍ରିଅସ୍ ଓ ଅନ୍ୟଟି ରେଜିନସ୍ । ତେଣୁ ଏହା ତାଙ୍କ ବିଦ୍ୟୁତ୍‌ର ଦ୍ୱିପ୍ରବାହୀ ତତ୍ତ୍ୱ (Two-fluid theory)

ଦେବାପାଇଁ ଆଗେଇନେଲା । ଅଷ୍ଟାଦଶ ଶତାବ୍ଦୀର ପ୍ରଥମ ଅର୍ଦ୍ଧରେ ୧୭୦୬ ମସିହାରେ ହକ୍‌ସବିଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋସ୍କୋପ୍ ଉଦ୍ଭାବିତ ହୋଇଥିଲା; ଘର୍ଷଣ ବିଦ୍ୟୁତ ମେସିନ ବାହାରିଥିଲା । ୧୭୪୫ରେ ଲିଡେନ୍ ଜାର ଆସିଗଲା ଏବଂ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକରେ ଯଥେଷ୍ଟ ଆଗ୍ରହ ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଥିଲା । ସେହି ଶତାବ୍ଦୀର ପରାର୍ଦ୍ଧରେ ତିନୋଟି ନାମ ପ୍ରଧାନ । ବେଞ୍ଜାମିନ୍ ଫ୍ରାଙ୍କ୍‌ଲିନ (୧୭୦୬—୧୭୯୦), ହେନେରୀ କାଭେଣ୍ଡିସ୍ (୧୭୩୧—୧୮୧୦) ଏବଂ ଚାର୍ଲସ୍ ଏ. ଡି କୁଲମ୍ବ (୧୭୩୬—୧୮୦୬) ।

ପ୍ରାୟ ୧୭୪୫ ବେଳକୁ ଫ୍ରାଙ୍କ୍‌ଲିନ୍‌ଙ୍କର ପରୀକ୍ଷା ଆରମ୍ଭ ହେଲା । ତାଙ୍କର ପ୍ରଥମ ଅବସ୍ଥାର ଗୋଟିଏ ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣ ହେଲା ବିନ୍ଦୁମାନଙ୍କରେ "ବିଦ୍ୟୁତ୍ ଅଗ୍ନି ଟାଣିବା ଓ ଫିଙ୍ଗିବା" ଗୁଣ । କ୍ୟାଲରୀ ପ୍ରବାହ ତତ୍ତ୍ୱ ପରି 'ବିଦ୍ୟୁତ୍‌ର ଏକ ପ୍ରବାହ ତତ୍ତ୍ୱ' ସେ ଦେଇଥିଲେ । ଏହି ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁମାନ କରୁଥିଲା ଯେ ପ୍ରତ୍ୟେକ ବସ୍ତୁ ପ୍ରାକୃତିକ ଭାବରେ କେତେକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରିମାଣର ବିଦ୍ୟୁତ ଧାରଣ କରିଥାନ୍ତି । ଯେତେବେଳେ କୌଣସି ବସ୍ତୁରେ ଏହି ପ୍ରବାହ ପରିମାଣ ଅଧିକ ହୋଇଯାଏ, ଏହା ଦୁଇପ୍ରକାର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଗୁଣ ମଧ୍ୟରୁ ଗୋଟିଏ ପ୍ରକାଶ କରେ ଓ ଯେତେବେଳେ ଏହି ପରିମାଣ କମିଯାଏ, ସେତେବେଳେ ଅନ୍ୟପ୍ରକାର ବିଦ୍ୟୁତ୍ ପ୍ରକାଶ ପାଏ । ପ୍ରଥମୋକ୍ତ ଗୁଣକୁ ଫ୍ରାଙ୍କ୍‌ଲିନ ପଜିଟିଭ ବା ଯୁକ୍ତ ବିଦ୍ୟୁତ ଓ ପରୋକ୍ତ ଗୁଣକୁ ନେଗେଟିଭ ବା ବିଯୁକ୍ତ ବିଦ୍ୟୁତ କହୁଥିଲେ । ବିଦ୍ୟୁତ ସ୍ଫୁଲିଙ୍ଗର ସୃଷ୍ଟିବେଳେ କେତେକ ଘଟଣା ଦେଖି ତାଙ୍କର ପଜିଟିଭ ବିଦ୍ୟୁତକୁ ଆଗରୁ କଥିତ ଥିବା ଭଳି ଅଗ୍ନି ବୋଲି ଚଳାଇଥିଲେ ।

ପ୍ରାୟ ୧୭୫୦ ବେଳକୁ ଫ୍ରାଙ୍କ୍‌ଲିନ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ବିସର୍ଜନ ଓ ବିଜୁଳି ମଧ୍ୟରେ ସମ୍ବନ୍ଧ ଥିବାର ଅନୁମାନ କରିଥିଲେ । ଏ ଉଭୟ ମଧ୍ୟରେ ବହୁ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ଦେଖାଇ ସେ ପ୍ରସ୍ତାବ ଦେଲେ ଯେ ଗୋଟିଏ ମୁନିଆ ଲୌହଦଣ୍ଡ ସାହାଯ୍ୟରେ "ବାଦଲରୁ ନିଆଁ ବାହାର କରିହେବ ।" ୧୭୫୨ ମସିହାରେ ଡେଲିବାର୍ଡ଼ ପାରିସ୍‌ଠାରେ ଏହି ପରୀକ୍ଷା ସମ୍ପନ୍ନ କରି ଫ୍ରାଙ୍କ୍‌ଲିନଙ୍କର ଉକ୍ତି ସତ୍ୟ ବୋଲି ଦର୍ଶାଇଥିଲେ । ଏହାର ଅଳ୍ପ ସମୟ ପରେ ଫ୍ରାଙ୍କ୍‌ଲିନ ତାଙ୍କର ବିଖ୍ୟାତ ଗୁଡ଼ି ପରୀକ୍ଷାଟି କରିଥିଲେ । ପ୍ରତି ସ୍କୁଲ ପିଲା ଏ ପରୀକ୍ଷା ଜାଣେ । ଏଥିରୁ ତାଙ୍କର ବାୟୁମଣ୍ଡଳ ବିଦ୍ୟୁତ ଗବେଷଣାର ଜନ୍ମ । ଏଥିରୁ ତାଙ୍କର ବିଜୁଳି ଦଣ୍ଡର ଉଦ୍ଭାବନ ସମ୍ଭବ ହୋଇଥିଲା । ଫ୍ରାଙ୍କ୍‌ଲିନଙ୍କର ଦୀର୍ଘ କର୍ମବହୁଳ ଜୀବନର ମାତ୍ର

ଅଳ୍ପ ଅଂଶ ଏହି ଗବେଷଣାରେ କଟିଥିଲା । କିନ୍ତୁ ଏହା ତାଙ୍କୁ ବୈଜ୍ଞାନିକ ଜଗତରେ ଗୋଟିଏ ଉଚ୍ଚ ଆସନ ଦେବାକୁ ଯଥେଷ୍ଟ ହୋଇଥିଲା ।

କାଭେଣ୍ଡିସ୍ ଓ କୁଲମ୍ବଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ବିଦ୍ୟୁତରେ ପରିମାଣମୂଳକ ଗବେଷଣା ଆରମ୍ଭ ହୋଇଥିଲା । କାଭେଣ୍ଡିସ୍ କେବଳ ସ୍ଥିର ବିଦ୍ୟୁତରେ ତାଙ୍କର ଗବେଷଣା ଲାଗି ପରିଚିତ ନୁହନ୍ତି; ସେ ରସାୟନ ଶାସ୍ତ୍ରରେ ତାଙ୍କର କାର୍ଯ୍ୟ ଲାଗି ମଧ୍ୟ ବେଶ୍ ପରିଚିତ । ୧୭୯୮ ମସିହାରେ ତାଙ୍କର ସବିଖ୍ୟାତ କାଭେଣ୍ଡିସ୍ ପରୀକ୍ଷା ହୋଇଥିଲା । ଏଥିରେ ସେ ମହାକର୍ଷଣର ଧ୍ରୁବାଙ୍କ ନିରୂପଣ କରିଥିଲେ । ବିଦ୍ୟୁତରେ ତାଙ୍କର ଗବେଷଣା ବହୁମୁଖୀ; ମାତ୍ର ଏଥିରୁ ଅଧିକାଂଶ ଅଜ୍ଞାତ ଅବସ୍ଥାରେ ରହିଗଲା କାରଣ ସେ ତାଙ୍କର ଗୋଟିଏ ମାତ୍ର ପ୍ରଧାନ ପରୀକ୍ଷା ପ୍ରକାଶ କରିଥିଲେ । ତାଙ୍କର ମୃତ୍ୟୁବେଳକୁ ସେ ବହୁ ମୂଲ୍ୟବାନ ପାଣ୍ଡୁଲିପି ଛାଡ଼ି ଯାଇଥିଲେ । ଏହାକୁ ମ୍ୟାକ୍ସୱେଲ୍ ସମ୍ପାଦନ କରି ୧୮୭୯ରେ ପ୍ରକାଶ କରିଥିଲେ । ଏହି ପରୀକ୍ଷାଗୁଡ଼ିକରେ କାଭେଣ୍ଡିସ୍ ସ୍ଥିର ବିଦ୍ୟୁତ୍ ବଳ ପାଇଁ ପ୍ରତିଲୋମବର୍ଗ ନିୟମ ପ୍ରମାଣ କରିଥିଲେ, ଧାରକତ୍ୱ ମାପ କରିଥିଲେ, ଧାରକର ମାଢକୁ ସ୍ୱୀକାର କରିଥିଲେ ଏବଂ ଅନେକ ବସ୍ତୁର ବୈଶିଷ୍ଟ୍ୟ ଧାରକତ୍ୱ ନିରୂପଣ କରିଥିଲେ । ଆମେ ବର୍ତ୍ତମାନ ଯାହାକୁ ବିଭବ (Potenfial) ବୋଲି କହୁଛୁ, ସେ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଅନେକ ପରିମାଣରେ ଗୋଟିଏ ସ୍ପଷ୍ଟ ଧାରଣାରେ ଉପନୀତ ହୋଇଥିଲେ, ୫୦ ବର୍ଷ ପୂର୍ବରୁ ଓମ୍‌ନିୟମ ପ୍ରତ୍ୟାଶା କରିପାରିଥିଲେ । ଏହି ପ୍ରଧାନ ପରିମାପଗୁଡ଼ିକ ଯଦି ତାଙ୍କର ସମସାମୟିକ ବୈଜ୍ଞାନିକମାନଙ୍କୁ ଜଣାଇ ଦିଆଯାଇଥାନ୍ତା, ତେବେ ବିଦ୍ୟୁତବିଜ୍ଞାନର ଇତିହାସ ବହୁ ପରିମାଣରେ ବଦଳି ଯାଇଥାନ୍ତା । ବର୍ତ୍ତମାନ ଏହି ଆବିଷ୍କାରଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ ସମ୍ମାନ ଅନ୍ୟମାନଙ୍କୁ ଦିଆଯାଉଅଛି; କାରଣ ଯଦି କୌଣସି ଗବେଷଣା ଗୋପନ ରଖାଯାଏ, ତେବେ ତାହା ଅନ୍ୟମାନଙ୍କର କୌଣସି କାମରେ ଲାଗେନାହିଁ ।

କୁଲମ୍ବଙ୍କର କାର୍ଯ୍ୟ ଟର୍ସନ୍ ତରାଜୁ ତିଆରି କରିବାରୁ ଆରମ୍ଭ ହୋଇଥିଲା । ପ୍ରଥମେ ଏହି ତରାଜୁ ଟର୍ସନ୍ ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକତା ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଆଲୋଚନା କରିବାପାଇଁ ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇଥିଲା । ୧୭୮୫ରୁ ୧୭୮୯ ମଧ୍ୟରେ ସେ ବିଦ୍ୟୁତ ଓ ଚୁମ୍ବକ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ସାତଟି ପ୍ରବନ୍ଧ Memoires de L'Academie Royale des Sciencesରେ ପ୍ରକାଶ କରିଥିଲେ । ଏଥିରେ ସେ ଦେଖାଇଥିଲେ ଯେ ସ୍ଥିର ବିଦ୍ୟୁତ ବଳ ପ୍ରତିଲୋମବର୍ଗ

ନିୟମ ଦ୍ୱାରା ପରିଚାଳିତ; ସୁପରିବାହୀ ବସ୍ତୁମାନଙ୍କରେ ସ୍ରୋତ କେବଳ ଉପରିଭାଗରେ ରହିଥାଏ ଏବଂ ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁର ଧାରକତ୍ୱ ସେହି ବସ୍ତୁ କେଉଁ ଦ୍ରବ୍ୟରେ ତିଆରି, ତା'ର ପ୍ରକୃତି ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେନାହିଁ ।

1.21 ଦ୍ୱିତୀୟ ପର୍ଯ୍ୟାୟର ଶେଷ ସମୟ :

ଅଷ୍ଟାଦଶ ଶତାବ୍ଦୀର ଶେଷବେଳକୁ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନର ତିନୋଟି ବିଭାଗରେ ପ୍ରତିଦ୍ୱନ୍ଦୀ ମତବାଦ ସବୁ ଦେଖାଦେଲା । କ୍ୟାଲରି ମତବାଦ ଓ ତାପର ଗତିତତ୍ତ୍ୱ, ଆଲୋକର କଣାବାଦ ଓ ତରଙ୍ଗବାଦ ଏବଂ ବିଦ୍ୟୁତରେ ଏକ ପ୍ରବାହୀ ତତ୍ତ୍ୱ ଓ ଦ୍ୱିପ୍ରବାହୀ ତତ୍ତ୍ୱ । ଏହି ମତଗୁଡ଼ିକ ଯେପରି ସ୍ପଷ୍ଟଭାବରେ ପ୍ରତିଦ୍ୱନ୍ଦ୍ୱିତାର ସମ୍ମୁଖୀନ ହେଲେ ସେଥିରୁ ଜଣାଯାଉଛି ଗାଲିଲିଓଙ୍କ ପରଠାରୁ ବିଜ୍ଞାନ କିପରି ଦ୍ରୁତବେଗରେ ଆଗେଇଥିଲା; କିନ୍ତୁ ସବୁଥିରୁ ବଡ଼ କଥା ହେଲା ଯେ ଲୋକମାନେ ଅନ୍ଧଭାବରେ ଶାସ୍ତ୍ରକାରମାନଙ୍କର ଅନୁସରଣ କରିବାର ନିର୍ବୋଧତା ବୁଝିଥିଲେ ଏବଂ ପରୀକ୍ଷାଦ୍ୱାରା ସତ୍ୟ ନିର୍ଦ୍ଧାରଣ କରିବାର ମୂଲ୍ୟ ଉପଲବ୍ଧି କରିଥିଲେ ।

ତୃତୀୟ ପର୍ଯ୍ୟାୟ (ଖ୍ରୀଷ୍ଟାବ୍ଦ ୧୮୦୦—୧୮୯୦)
ପୁରାତନ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନର ଅଭ୍ୟୁଦୟ

1.22 ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଊନବିଂଶ ଶତାବ୍ଦୀ :

ଊନବିଂଶ ଶତାବ୍ଦୀରେ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନରେ ଏତେ ଜ୍ଞାନ ଯୋଗ କରାଗଲା ଯେ ଏହାର ପ୍ରକୃତ ଇତିହାସ ଦେବାକୁ ହେଲେ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନରେ ଗୋଟିଏ ପାଠ୍ୟପୁସ୍ତକ ପ୍ରଣୟନ କରିବାକୁ ହେବ । ଆମେ ସଂକ୍ଷେପରେ ଏହି ଅଗ୍ରଗତିର କେତେକ ପ୍ରଧାନ ସରଣୀର ସୂଚନା ଦେବୁ । ଯେଉଁ ପ୍ରଧାନ ବିଷୟଗୁଡ଼ିକ ଆଧୁନିକ ଶତାବ୍ଦୀର ଚିନ୍ତାଧାରାର ମୂଳଦୁଆ, କେବଳ ସେହି କେତୋଟି ଆବିଷ୍କାର ବାଛି, ଦିଆଯିବ ।

ଯାନ୍ତ୍ରିକୀରେ ହାମିଲ୍‌ଟନ୍‌ଙ୍କର ଆବିଷ୍କୃତ ହାମିଲ୍‌ଟୋନୀୟ ସମୀକରଣଗୁଡ଼ିକ ବିଶେଷତଃ କ୍ୱାଣ୍ଟମ୍ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀରେ ପ୍ରଶ୍ନଗୁଡ଼ିକ ସମାଧାନ କରିବାରେ ସାହାଯ୍ୟ କରିଥିଲା । ଗାଇରୋସ୍କୋପ ଓ ଅନମନୀୟ (Rigid) ବସ୍ତୁର ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ପ୍ରଶ୍ନଗୁଡ଼ିକ ସମାହିତ ହୋଇଥିଲା । ସେହିପରି ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକତାର ଗାଣିତିକ ତଥ୍ୟ ମଧ୍ୟ ଜଣାପଡ଼ିଥିଲା । ସବୁପ୍ରକାର

ତରଳ ପଦାର୍ଥର ପ୍ରବାହ ଆଲୋଚିତ ହୋଇ କଳ ଗତିକୀ ଗଢ଼ି ଉଠିଥିଲା । ତେବେ ଉପ୍‌କଳସ୍ ତରଳ ପଦାର୍ଥର ପ୍ରବାହ ସମ୍ବନ୍ଧରେ କେବଳ ସରଳ ପ୍ରଶ୍ନଗୁଡ଼ିକର ସମାଧାନ ହୋଇଥିଲା । ଏହାପରେ ତରଳ ପଦାର୍ଥ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଅର୍ଦ୍ଧାନୁଭବିକ ପ୍ରଣାଳୀରେ ବହୁଳ ଆଲୋଚନା କେବଳ ବିଂଶଶତାବ୍ଦୀରେ ବାୟୁଯାନର ଆବିଷ୍କାର ପରେ ସମ୍ଭବ ହୋଇଥିଲା ।

ଅନ୍ୟ କ୍ଷେତ୍ରମାନଙ୍କରେ କାର୍ଯ୍ୟ ଅଧିକ ଆକର୍ଷଣୀୟ ହୋଇଥିଲା । ପ୍ରଧାନ ପ୍ରଧାନ ଆବିଷ୍କାର ଓ ଉନ୍ନତିମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ—ତାପରେ ଗତିତତ୍ତ୍ୱର ଦୃଢ଼ ପ୍ରତିପାଦନ, ଗ୍ୟାସର ଗତିତତ୍ତ୍ୱର ଉନ୍ନତି, କଣାବାଦ ଉପରେ ଆଲୋକର ତରଙ୍ଗବାଦର ବିଜୟ (?); ଶକ୍ତିର ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମ ସାଧାରଣ ସୂତ୍ରରେ ପ୍ରକାଶ, ତାପଗତିକୀର ଦ୍ୱିତୀୟ ନିୟମର ଆବିଷ୍କାର । ସବୁଠାରୁ ବଡ଼ କଥା ହେଲା, ଫାରାଡ଼େ ଓ ଅନ୍ୟମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ଘଟଣାବଳୀର ଆବିଷ୍କାର, ଯାହାର ପରିସମାପ୍ତି ହେଲା ମ୍ୟାକ୍‌ସୱେଲଙ୍କର ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରର ତତ୍ତ୍ୱ ଓ ଆଲୋକ ତତ୍ତ୍ୱରେ ।

ଏହି ଅଗ୍ରଗତି-ପଥମାନଙ୍କରୁ ଆମେ ତିନୋଟି ବାଛିବା । ଯେଉଁ ତିନୋଟିର ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନର ଆଧୁନିକ ଅଗ୍ରଗତିରେ ପ୍ରଭାବ ରହିଛି । ଏହି ସମୟର ପ୍ରସିଦ୍ଧ ବୈଜ୍ଞାନିକମାନଙ୍କର ଉଦାହରଣ ଦେବାପାଇଁ ଆମେ ଫାରାଡ଼େ ଓ ମ୍ୟାକ୍‌ସୱେଲଙ୍କୁ ବାଛିବା ।

1.23 ତାପ ଓ ଶକ୍ତି :

ଶକ୍ତି ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମ ଏକ ପ୍ରଧାନ ମୌଳିକ ନିୟମ ଓ ଏହା ଭୌତିକ ବିଜ୍ଞାନର ନିୟମମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ବହୁଦୂର ପ୍ରସାରୀ । ତଥାପି ଏହା ଅନ୍ୟ ନିୟମମାନଙ୍କ ତୁଳନାରେ ଅତି ଅଳ୍ପଦିନ ତଳେ ଊନବିଂଶ ଶତାବ୍ଦୀର ଅଧାବେଳକୁ ପ୍ରତିପାଦିତ ହୋଇଥିଲା । ଯାନ୍ତ୍ରିକୀରେ ଅଷ୍ଟାଦଶ ଶତାବ୍ଦୀରେ vis viva ତତ୍ତ୍ୱରେ ଏହାର ଉଦାହରଣ ମିଳେ । କିନ୍ତୁ ଏହି ନିୟମର ବିଶ୍ୱବ୍ୟାପକତା ବୋଧଗମ୍ୟ ହେଲା—କେବଳ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରିମାଣର ତାପର ସମତୁଲ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରିମାଣର ଯାନ୍ତ୍ରିକ କାର୍ଯ୍ୟ ବୋଲି ପରୀକ୍ଷା ଦ୍ୱାରା ସ୍ୱୀକୃତ ହେବା ପରେ ।

କାଉଣ୍ଟ ରମ୍‌ଫୋର୍ଡ଼ ୧୭୯୮ ମସିହାରେ ତାପର ପ୍ରକୃତି ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଗୁଣାତ୍ମକ ପରୀକ୍ଷା କରିଥିଲେ । ସେ ଜଣେ ଆମେରିକାବାସୀ, ୧୭୭୫ ମସିହାରେ ଇଂଲଣ୍ଡକୁ ପଳାଇ

ଆସିଥିଲେ ଓ ବାଭେରିଆ ରାଜ୍ୟ ସରକାରଙ୍କର ସୈନ୍ୟବିଭାଗରେ ଇଞ୍ଜିନିୟର କାମ କରୁଥିଲେ । ତୋପ ଖୋଳା ହେଲାବେଳେ ସୃଷ୍ଟି ହେଉଥିବା ଅତ୍ୟଧିକ ଉତ୍ତାପ ଦେଖି ସେ ଏହି ସମ୍ବନ୍ଧରେ ପରୀକ୍ଷା କରିଥିଲେ ଏବଂ ସିଦ୍ଧାନ୍ତ ଉପନୀତ ହୋଇଥିଲେ ଯେ ଏତେ ବେଶୀ ପରିମାଣର ତାପର କ୍ୟାଲରି ମତବାଦ ଦ୍ୱାରା ବୁଝି ହେବନାହିଁ । ଖୋଳା ହେଲାବେଳେ ଯେଉଁ ଗ୍ରେଟ ଖଣ୍ଡମାନ ପଡ଼ୁଥାଏ ସେଗୁଡ଼ିକୁ ନେଇ ସେ ଓଜନ କରି ଦେଖିଲେ ଖୋଳା ହେବା ପ୍ରଣାଳୀରେ ଓଜନର ଓଜନରେ କୌଣସି ହ୍ରାସ ଘଟୁନାହିଁ ଏବଂ ସେ ସ୍ଥିର କଲେ ଯେ ସେହି ଗ୍ରେଟଖଣ୍ଡଗୁଡ଼ିକର ବିଶିଷ୍ଟ ତାପ ମୂଳବସ୍ତୁର ବିଶିଷ୍ଟ ତାପ ସହିତ ସମାନ । ସେ ସିଦ୍ଧାନ୍ତ କଲେ ଯେ ତାପ କ୍ୟାଲରି ପରି କୌଣସି "ବସ୍ତୁ" ନୁହେଁ; ଏହା ଏକପ୍ରକାର "ଗତି" ।

କାଉଣ୍ଟ ରମ୍ଫୋର୍ଡ଼ଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରତିଷ୍ଠିତ ରୟାଲ ଇନଷ୍ଟିଚ୍ୟୁସନ୍‌ର ଡାଇରେକ୍ଟର, ହମ୍ଫ୍ରି ଡେଭିଙ୍କର ପରୀକ୍ଷା କ୍ୟାଲରି ମତବାଦ ଅନୁସାରେ ଦୁର୍ବୋଧ୍ୟ ଆଉ ଏକ ପରୀକ୍ଷା । ଗୋଟିଏ ଶୂନ୍ୟସ୍ଥାନର କାନ୍ଥଗୁଡ଼ିକୁ ହିମାଙ୍କ ବିନ୍ଦୁରେ କମ୍ପରେ ରଖି ଡେଭି ସେଥିମଧ୍ୟରେ ଦୁଇଖଣ୍ଡ ବରଫକୁ ଘଷି ତରଳାଇ ଦେଲେ । ଏଠାରେ ବାହାରୁ ତାପ ଯୋଗ କରିଥିଲେ ଯାହା ଘଟିଥାନ୍ତା, ଯାନ୍ତ୍ରିକ କାର୍ଯ୍ୟ ଠିକ୍ ସେଇଆ କରିଛି; ଏଥିରେ ବରଫ ମଧ୍ୟରେ କ୍ୟାଲରି ପ୍ରବେଶ କରିବାର କୌଣସି ଉପାୟ ନାହିଁ । କିନ୍ତୁ କ୍ୟାଲରି ମତବାଦରେ ବିଶ୍ୱାସ କରୁଥିବା ଅଧିକାଂଶଙ୍କର ମନ ଏଥିରେ ମାନିଲା ନାହିଁ । ଏପରି ତାପଗତିକୀରେ ଜଣେ ପୁରୋଧା କାର୍ଣ୍ଣୋଟ୍ (୧୭୯୬—୧୮୩୨), ୧୮୨୪ ମସିହାରେ ତାଙ୍କର ବର୍ତ୍ତମାନ ଖ୍ୟାତି ଲାଭ କରିଥିବା ଚକ୍ରର ପ୍ରସ୍ତାବ ଦେଲାବେଳେ ସେ କ୍ୟାଲରି ମତବାଦ ବ୍ୟବହାର କରିଥିଲେ ।

୧୮୪୨ରେ ଆର୍. ଜେ. ମେୟର (୧୮୧୪—୧୮୭୮) ଗୋଟିଏ ପ୍ରବନ୍ଧ ପ୍ରକାଶ କରି ସେଥିରେ ଦାର୍ଶନିକ ଦୃଷ୍ଟିକୋଣରୁ ତାପ ଓ ଯାନ୍ତ୍ରିକ କାର୍ଯ୍ୟ ସମତୁଲ କରିଥିଲେ । ଗ୍ୟାସର ବିଶିଷ୍ଟ ତାପ ପରିମାଣରୁ ସେ ତାପର ଯାନ୍ତ୍ରିକ କାର୍ଯ୍ୟ ମୂଲ୍ୟ ନିରୂପଣ କରିଥିଲେ । ଏହା ମଧ୍ୟରେ ଇଂଲଣ୍ଡରେ ଜୋଲ୍ (୧୮୧୮—୧୮୮୯) ମେୟରଙ୍କର କାର୍ଯ୍ୟ କଥା ନଜାଣି ପରୀକ୍ଷା ଚଳାଇଥିଲେ । ଗୋଟିଏ ପାଡ଼ଲ ଚକକୁ ଜଳ ମଧ୍ୟରେ ଘୁରାଇ ସେ ଗୋଟିଏ ଲୁପ୍ତପ୍ରାୟ ବସ୍ତୁର ଯାନ୍ତ୍ରିକ ଶକ୍ତିକୁ ତାପରେ ପରିଣତ କରିଥିଲେ । ଏହିପରି ସେ ସ୍ଥିର କଲେ ୭୭୮ ଫୁଟ ପାଉଣ୍ଡ କାର୍ଯ୍ୟ ୧ ପାଉଣ୍ଡ ଜଳର ଉତ୍ତାପକୁ ୧° ଫାରେନହାଇଟ

ଉଠାଇବାକୁ ସମର୍ଥ ହେବ । ୧୮୪୭ ମସିହାରେ ବ୍ରିଟିଶ୍ ଆଡ୍‌ଭାନ୍‌ସମେଣ୍ଟ ଅଫ୍ ସାଇନ୍‌ସର ଏକ ସଭାରେ ଜୋଲ ତାଙ୍କର ଏହି ମୂଲ୍ୟ ପ୍ରକାଶ କରିଥିଲେ । ଏହି ପ୍ରବନ୍ଧଟି ଲୋକଲୋଚନର ଅଗୋଚରରେ ରହିଯାଇ ଯାଇଥାନ୍ତା । ମାତ୍ର ଉଇଲିୟମ୍ ଥମସନ୍ (ଯେଉଁ ପରେ ଲର୍ଡ଼ କେଲ୍‌ଭିନ ନାମରେ ପରିଚିତ ହୋଇଥିଲେ) ଏହି ପ୍ରସ୍ତାବିତ ତତ୍ତ୍ୱର ମୂଲ୍ୟ ଜାଣିପାରି ସେଦିନର ସଭାରେ ଏହାକୁ ପ୍ରଧାନ ଆଲୋଚ୍ୟ ବିଷୟ କରିଥିଲେ ।

ମେୟର ଓ ଜୋଲଙ୍କର କାର୍ଯ୍ୟରୁ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଭାବରେ ହେଲ୍‌ମହୋଲ୍‌ଜ (୧୮୨୧—୧୮୯୪), ୧୮୪୭ ମସିହାରେ ବର୍ଲିନର ଫିଜିକାଲ୍ ସୋସାଇଟିରେ "Die Erhaltung der Kraft" ନାମରେ ଗୋଟିଏ ପ୍ରବନ୍ଧ ପାଠ କରିଥିଲେ । ଏଥିରେ ଶକ୍ତିସଂରକ୍ଷଣ ସେ ପ୍ରତିପାଦନ କଲେ କାରଣ ନିରନ୍ତର ଗତିବାନ ଯନ୍ତ୍ର ଅସମ୍ଭବ । ଏହି ପ୍ରବନ୍ଧଟି Annalen der Physikର ସମ୍ପାଦକଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଗୃହୀତ ନହେବାରୁ ଖଣ୍ଡିଏ ପୁସ୍ତିକା ଆକାରରେ ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥିଲା ।

ଏହି ଆବିଷ୍କାର ସବୁ କ୍ୟାଲରି ମତବାଦ ସହ୍ୟ କରି ପାରୁନଥିଲା । ୧୮୫୦ ମସିହା ବେଳକୁ ତାପର ଯାନ୍ତ୍ରିକ ମତବାଦ ଓ ଶକ୍ତି ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମ ସର୍ବତ୍ର ଗୃହୀତ ହୋଇ ସାରିଥିଲା ।

ତାପଗତିକୀର ଦ୍ୱିତୀୟ ନିୟମ କ୍ଲସିୟସ୍ ପ୍ରତିପାଦନ କରିଥିଲେ (୧୮୫୦) ଏବଂ ଏହା ଅନ୍ୟ ଏକରୂପରେ କେଲ୍‌ଭିନ୍ (୧୮୫୧) ମଧ୍ୟ ପ୍ରତିପାଦନ କଲେ । ୧୮୫୪ ମସିହାରେ କେଲ୍‌ଭିନ୍ ତାପଗତିକୀ ପ୍ରଣାଳୀରେ ତାପମାତ୍ରା ସ୍କେଲ ପ୍ରସ୍ତାବ କରିଥିଲେ । ଏହିପରି ଅତ୍ୟନ୍ତ କୃତକାର୍ଯ୍ୟ ହୋଇଥିବା ତାପର ପୁରାତନ ମତବାଦ ଗଢ଼ି ଉଠିଥିଲା । ଏହି ମତବାଦ କେଉଁ କେଉଁ ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକ ବୁଝାଇବାକୁ ସମର୍ଥ ହେଲାନାହିଁ ଓ ଉପରି ଏହି ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ମତବାଦ ଗଢ଼ି ଉଠିବାରେ ସାହାଯ୍ୟ କଲା, ତାହା ଆମେ ପରେ ଆଲୋଚନା କରିବା ।

1.24 ଆଲୋକ :

ଟମାସ୍ ୟଙ୍ଗ (୧୭୭୩—୧୮୨୯)ଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଆରମ୍ଭ କରାଯାଇଥିବା ଆଲୋକର ତରଙ୍ଗବାଦର ପୁନରୁତ୍ଥାନ ଉନବିଂଶ ଶତାବ୍ଦୀର ଇତିହାସରେ ଏକ ପ୍ରଧାନ ବିଷୟ । ୟଙ୍ଗ ଦେଖାଇଥିଲେ ଯେ ଦୁଇଟି ମାଧ୍ୟମର ଅନ୍ତରତଳଠାରେ ଗୋଟିଏ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ

ପ୍ରତିପାଦିତ ହେବା ତରଙ୍ଗବାଦରୁ ଆଶା କରାଯାଏ, କିନ୍ତୁ କଣାବାଦରେ ଏହା ସନ୍ତୋଷଜନକ ଭାବରେ ବୁଝାଇ ହେବନାହିଁ । ୧୮୦୧ ମସିହାରେ ସେ ରୟାଲ ସୋସାଇଟିକୁ "ଆଲୋକ ଓ ବର୍ଣ୍ଣର ତତ୍ତ୍ୱ" ନାମରେ ଗୋଟିଏ ପ୍ରବନ୍ଧ ଦେଇଥିଲେ । ସେଥିରେ ସେ ନିଉଟନ୍ ବୃତ୍ତ ଏବଂ ପାତଳ ପ୍ଲେଟ୍‌ର ବର୍ଣ୍ଣକୁ ଦୁଇଟି ତରଙ୍ଗ ପ୍ରବାହର ବ୍ୟତିକରଣଦ୍ୱାରା ବୁଝାଇଥିଲେ । ବିଭିନ୍ନ ରଙ୍ଗ ଦେଖାଯିବାପାଇଁ ବାୟୁସ୍ତରର ଯେଉଁ ପରିମାଣରେ ମୋଟା ଦରକାର ନିଉଟନ ତାହା ମାପ କରିଥିଲେ, ସେଥିରୁ ୟଙ୍ଗ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ପରିମାଣ ହିସାବ କରିବାକୁ ସମର୍ଥ ହେଲେ । ଗୋଟିଏ ସରୁ ଛିଦ୍ର ଦେଇ ଯାଉଥିବା ଆଲୋକପଥରେ ବାଳ ବା ସିଲ୍‌କ ସୂତା ରଖିଲେ ମିଳୁଥିବା ବ୍ୟତିକରଣ ଫ୍ରିଞ୍ଜ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ସେ କେତେକ ପ୍ରବନ୍ଧରେ ବର୍ଣ୍ଣନା କରିଥିଲେ । ପ୍ରତିଫଳନ ସମୟରେ ତରଙ୍ଗର କଳାରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୁଏ ବୋଲି ସେ ପ୍ରତିପାଦନ କରିଥିଲେ । ସେ ବିବର୍ତ୍ତନ ବ୍ୟାଣ୍ଡକୁ ବ୍ୟତିକରଣ ନିୟମ ଅନୁସାରେ ବୁଝାଇଥିଲେ । ଏହି ବ୍ୟାଣ୍ଡଗୁଡ଼ିକର ବ୍ୟବଧାନରୁ ମିଳୁଥିବା ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ପରିମାଣ ନିଉଟନ ବୃତ୍ତରୁ ମିଳୁଥିବା ପରିମାଣ ସହିତ ସମାନ ହେଉଥିବାରୁ ଏ ଦୁଇ ଘଟଣା ନିଶ୍ଚୟ ଗୋଟିଏ ସାଧାରଣ କାରଣରୁ ଘଟିଥିବ ବୋଲି ସେ ଅନୁମାନ କରିଥିଲେ । ପୁଣି ଅରେ ପରିମାଣାତ୍ମକ ମାପ ଚିନ୍ତା ପ୍ରବାହରେ ଅପରିହାର୍ଯ୍ୟ ମନେ ହୋଇଥିଲା ।

କିନ୍ତୁ ବୈଜ୍ଞାନିକ ବିଷୟବସ୍ତୁରେ ଅନ୍ଧ ବିଶ୍ୱାସର ପ୍ରଭାବ ଏବେ ମଧ୍ୟ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଯାଇ ନଥିଲା । ୟଙ୍ଗଙ୍କର ପ୍ରବନ୍ଧ ତୀବ୍ର ଆକ୍ରମଣର ସମ୍ମୁଖୀନ ହେଲା; ଏପରିକି ଉପହାସ ଓ ନିନ୍ଦାବାଦରୁ ମଧ୍ୟ ନିସ୍ତାର ପାଇ ନଥିଲା । ତାଙ୍କର ପ୍ରଧାନ ବିରୁଦ୍ଧବାଦୀ ସମାଲୋଚକ ଥିଲେ ହେନେରି ବ୍ରୁଘାମ୍ । ସେ ପରେ ଇଂଲଣ୍ଡର ଲର୍ଡ଼ ଚାନ୍‌ସେଲର ହୋଇଥିଲେ । ସେ "ଏଡିନ୍‌ବର୍ଗ ରିଭିଉ"ରେ ୟଙ୍ଗଙ୍କର ପ୍ରବନ୍ଧ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ମତାମତ ଦେଇ ଲେଖିଥିଲେ ।

"ଯେଉଁ ନୂଆ ଚିନ୍ତା କେବଳ ବିଜ୍ଞାନର ଅଗ୍ରଗତିରେ ବାଧା ସୃଷ୍ଟି କରିବ, ବେକନ ଓ ନିଉଟନଙ୍କ ପରି ମନୀଷୀମାନେ ଯେଉଁ ଭୂତମାନଙ୍କୁ, ବିଭ୍ରାନ୍ତିକର କଳ୍ପନାଗୁଡ଼ିକୁ ସେମାନଙ୍କର ମନ୍ଦିରରୁ ହଟାଇ ଦେଇଥିଲେ, ସେମାନଙ୍କୁ ପୁଣି ନେଇ ଆସିବ, ଆମେ ସେହି ଚିନ୍ତା ବିରୁଦ୍ଧରେ ନିଜର କ୍ଷୀଣସ୍ୱର ଉଠାଇବାର ଇଚ୍ଛା କରୁଛୁ । ଆମେ ଅନୁରୋଧ କରୁଛୁ ଦାର୍ଶନିକମାନେ ନିର୍ଭୁଲ ଓ କଠୋର ପ୍ରଣାଳୀରେ ଗବେଷଣା କରନ୍ତୁ ।"

୧୮୧୫ ମସିହାରେ ଫ୍ରିନେଲ୍ (୧୭୮୮—୧୮୨୭) ବ୍ୟତିକରଣ ଘଟଣାକୁ ପୁଣି ଥରେ ଆବିଷ୍କାର କଲେ । ଦୁଇଟି ଦର୍ପଣ ସାହାଯ୍ୟରେ ତାଙ୍କର ବିଖ୍ୟାତ ପରୀକ୍ଷାଦ୍ୱାରା ଏହା ସମ୍ଭବ ହେଲା । କେତେକବର୍ଷ ପରେ ସେ ଏପରି ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକ (୧୮୧୮—୧୮୧୯) ପାଇଁ ଗାଣିତିକ ତତ୍ତ୍ୱ ପ୍ରତିପାଦନ କଲେ । ଇଥରରେ ଆଲୋକର ଗତି ତରଙ୍ଗପ୍ରତି ଅନୁପ୍ରସ୍ଥ ଭାବରେ ସ୍ପନ୍ଦନ ହେଉଛି ଓ ଅନୁଦୈର୍ଘ୍ୟଭାବେ ସ୍ପନ୍ଦନ ହେଉନାହିଁ ବୋଲି ଅନୁମାନ କରି ସେ ଆଲୋକର ପାର୍ଶ୍ୱୀକରଣ ବୁଝାଇଥିଲେ । ୧୮୧୭ରେ ଆରାଗୋ ଗୋଟିଏ ପ୍ରବନ୍ଧ ଲେଖି ସ୍ୱଙ୍ଗ ଆଗରୁ ଏହି ପ୍ରସ୍ତାବ ଦେଇ ସାରିଥିଲେ) । ଫ୍ରିନେଲ୍ ଦେଖାଇଲେ ଯେ ଯଦି ଦୁଇଟି ସମତଳ ପାର୍ଶ୍ୱୀକୃତ ରଶ୍ମିର ସମତଳ ଦୁଇଟି ପରସ୍ପର ପ୍ରତି ଲମ୍ବ ଭାବରେ ରହନ୍ତି, ତେବେ କେବେହେଲେ ବ୍ୟତିକରଣ ଘଟିବ ନାହିଁ; ଏହି ପରୀକ୍ଷାଦ୍ୱାରା ସେ ଉକ୍ତ ଚିନ୍ତାଧାରାକୁ ସମର୍ଥନ କରିଥିଲେ । ୧୬୬୯ରେ ବାର୍ଥୋଲିନସ୍ ଆଇସ୍‌ଲାଣ୍ଡ ସ୍ଫଟିକରେ ଆଲୋକର ପାର୍ଶ୍ୱୀକରଣ ଆବିଷ୍କାର କରିଥିଲେ; ତେଣୁ ନିଉଟନ ଏହି ପାର୍ଶ୍ୱୀକରଣ ଘଟଣା ଜାଣିଥିଲେ । ଏହି ପାର୍ଶ୍ୱୀକରଣ ଘଟଣାକୁ କଣାବାଦ ଅନୁସାରେ ବୁଝାଇବାପାଇଁ ନିଉଟନ କଣାଗୁଡ଼ିକର ଏକପ୍ରକାର ରୂପ ଅନୁମାନ କରିଥିଲେ, ମାତ୍ର ତାଙ୍କର ଏହି କଥାରେ କାହାରି ମନ ମାନି ନଥିଲା । ପାର୍ଶ୍ୱୀକରଣ ଅଲୋକର ଦୁଇ ମତବାଦ ପାଇଁ କଣ୍ଟକ ହୋଇ ରହିଥିଲା । ଫ୍ରିନେଲଙ୍କ ଆଲୋଚନାରେ ଅନୁମାନ କରାଯାଇଥିଲା ଯେ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ଇଥରରେ ଆଲୋକ ଏକ ଯାନ୍ତ୍ରିକ-ତରଙ୍ଗ; ଏହି ଇଥରର ଅନମନୀୟତା ଓ ସାନ୍ଦ୍ରତା ଗୁଣ ଥିବାରୁ ଏଥିରେ ଅନୁପ୍ରସ୍ଥ ତରଙ୍ଗ ଗତି କରି ପାରୁଅଛି । (ତଥାପି ଏହି ଇଥର ମଧ୍ୟରେ ଗ୍ରହମାନେ ମାପି ପାରିବା ଭଳି କୌଣସି ବାଧା ନପାଇ ଗତି କରି ପାରୁଛନ୍ତି) । ଏହି ଯାନ୍ତ୍ରିକ ତରଙ୍ଗ ସାହାଯ୍ୟରେ ଆଲୋକ ଗୋଟିଏ ମାଧ୍ୟମରୁ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ମାଧ୍ୟମକୁ ଗଲାବେଳେ ଘଟୁଥିବା ପ୍ରତିଫଳନ ଓ ସଞ୍ଚରଣର ଗୁଣାଙ୍କ ପାଇଁ ସେ ଆପତିତ କୋଣ ଓ ପାର୍ଶ୍ୱୀକରଣରେ ବ୍ୟବହାର କରି ଠିକ୍ ଗାଣିତିକ ଉକ୍ତି ପାଇଥିଲେ । ଏପରି ଗୋଟିଏ ମଡେଲ୍‌ରୁ ଠିକ୍ ଉକ୍ତି ମିଳିଯିବା ଆଶ୍ଚର୍ଯ୍ୟକର ହୋଇପାରେ । ମାତ୍ର ଫ୍ରିନେଲଙ୍କର ଯାନ୍ତ୍ରିକ ତରଙ୍ଗ ଓ ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକ ତରଙ୍ଗ, ଉଭୟ ଏକପ୍ରକାରର ତରଙ୍ଗ ସମୀକରଣରେ ବ୍ୟବହାର କରନ୍ତି ଏବଂ ଏକାପ୍ରକାର ସୀମାବସ୍ଥା ବ୍ୟବହାର କରନ୍ତି । ତେଣୁ ତରଙ୍ଗର ଠିକ୍ ପ୍ରକୃତି ପ୍ରତିଫଳନ ଓ ସଞ୍ଚରଣ ଗୁଣାଙ୍କ ନିର୍ଣ୍ଣୟରେ କୌଣସି ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ପ୍ରଭାବ ପକାଏନାହିଁ ।

ତରଙ୍ଗବାଦର ସପକ୍ଷରେ ପରୀକ୍ଷାମୂଳକ ସମର୍ଥନ ଦିନକୁ ଦିନ ଅଧିକ ହେବାକୁ ଲାଗିଲା । ୧୮୫୦ରେ ଫୋକଲ୍ଟ ଗୋଟିଏ ସଙ୍କଟଜନକ ପରୀକ୍ଷା ସମ୍ପାଦନ କଲେ । ଏଥିରେ ସେ ତାଙ୍କର ଘୂର୍ଣ୍ଣାୟମାନ ଦର୍ପଣ ସାହାଯ୍ୟରେ ଦେଖାଇଲେ ଯେ ଆଲୋକ ବାୟୁ ଅପେକ୍ଷା ଜଳ ମଧ୍ୟରେ କମ ବେଗରେ ଗତି କରେ, ଠିକ ଯେପରି ତରଙ୍ଗବାଦ ସୂଚାଇଥିଲା ।

୧୮୫୦ ମସିହାରୁ ଊନବିଂଶ ଶତାବ୍ଦୀର ଶେଷ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ (୧୮୯୦) ତରଙ୍ଗବାଦ ନିର୍ବିବାଦରେ ଆଧିପତ୍ୟ ବିସ୍ତାର କରିଥିଲା । କଣାବାଦ ଶେଷରେ ପରାଜିତ ହୋଇଛି ବୋଲି ଯେ ବାରମ୍ବାର କୁହାଯାଉଥିଲା, ସେଥିରେ ଯଥାର୍ଥତା ଥିଲା । ବିଶେଷ କରି ମ୍ୟାକ୍ସୱେଲଙ୍କର ବିଦ୍ୟୁତ୍ ଚୁମ୍ବକ ମତବାଦର ପ୍ରକାଶ ଓ ପରୀକ୍ଷାଦ୍ୱାରା ଏହାର ସମର୍ଥନ ପରେ ଏହି ଧାରଣା ଦୃଢ଼ ହୋଇଥିଲା, ତଥାପି କଣାବାଦର ମୃତ୍ୟୁ ହୋଇ ନଥିଲା, ଏହା କେବଳ ସୁପ୍ତ ଥିଲା ।

ଆଗରୁ କୁହାଯାଇ ନଥିବା ୧୮୦୦ରୁ ୧୮୯୦ ମଧ୍ୟରେ ଆଲୋକ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ କେତେକ ପ୍ରଧାନ ଆବିଷ୍କାର ହେଲା :

		ଆବିଷ୍କାରକ
ସୌର ବର୍ଣ୍ଣାଳୀରେ କୃଷ୍ଣ (ଫ୍ରାନୋଫର) ରେଖାସବୁ	(୧୮୦୧)	ଉଲାଷ୍ଟନ
ଦୁଇଟିର ଉପରିଗତ ତତ୍ତ୍ୱ	(୧୮୦୨)	ୟଙ୍ଗ
କ୍ୱାର୍ଜର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ପାଶ୍ୱ୍ୟୀକରଣ	(୧୮୧୧)	ଆରାଗୋ
ବିଚ୍ଛୁରିତ ଆଲୋକର ପାଶ୍ୱ୍ୟୀକରଣ	(୧୮୧୩)	ଆରାଗୋ
ତରଳ ପଦାର୍ଥ ଦ୍ୱାରା ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ପାଶ୍ୱ୍ୟୀକରଣ	(୧୮୧୫)	ବାୟୋଟ୍
ରୂପା ବ୍ରୋମାଇଡ଼ର ଆଲୋକ ସମ୍ବେଦନ	(୧୮୨୬)	ବାଲାର୍ଡ଼
ଆଲୋକରେ ସେଲେନିୟମର ପରିବହନଶୀଳତାରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ	(୧୮୩୭)	ନକ୍ସ
ଡପ୍ଲର ଫଳାଫଳ	(୧୮୪୨)	ଡପ୍ଲର
ବର୍ଣ୍ଣାଳୀ ବିଶ୍ଳେଷଣର ଆରମ୍ଭ	(୧୮୫୯)	କିରଚଫ୍ ଓ ବୁନ୍ସେନ୍

1.25 ବିଦ୍ୟୁତ ଓ ଚୁମ୍ବକ :

ଊନବିଂଶ ଶତାବ୍ଦୀ ମଧ୍ୟରେ ବିଦ୍ୟୁତର ଇତିହାସ ଏପରି ବିଶାଳ ଯେ କେବଳ ଠିକେ ଠିକେ କହିଦେଲେ ବି ଗୋଟିଏ ମୋଟିଆ ଗ୍ରନ୍ଥ ହୋଇଯିବ । ପ୍ରଥମ କେତୋଟି ଦଶକରେ ହୋଇଥିବା ମୌଳିକ ଆବିଷ୍କାରମାନଙ୍କ ବ୍ୟତୀତ ଆମେ ବିଶେଷ କିଛି ଆଲୋଚନା କରିବା ନାହିଁ । ତାପରେ ଫାରାଡ଼େ ଓ ମ୍ୟାକ୍ସୱେଲଙ୍କର କାର୍ଯ୍ୟ ଆଲୋଚନା କରିବା । ଏ ଦୁହିଁଙ୍କର କାର୍ଯ୍ୟ ପରସ୍ପର ସହିତ ଅତି ଘନିଷ୍ଠଭାବରେ ସମ୍ପୃକ୍ତ ଓ ଆଧୁନିକ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ ସହିତ ମଧ୍ୟ ସଂପୃକ୍ତ ।

ସ୍ଥିରବିଦ୍ୟୁତ ଓ ଚୁମ୍ବକର ଗାଣିତିକ ତତ୍ତ୍ୱ ଲାପ୍ଲାସ, ଗ୍ରୀନ୍ ଓ ପଏସଂକ ଦ୍ୱାରା ବହୁ ପରିମାଣରେ ଆଗେଇ ଯାଇଥିଲେ ମଧ୍ୟ ବିଦ୍ୟୁତପ୍ରବାହ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ମୌଳିକ ଆବିଷ୍କାର ସରୁ ହୋଇଥିଲା । ୧୭୮୬ରେ ଗାଲ୍ଭାନି ଆକସ୍ମିକ ଭାବରେ ଦେଖିଲେ ଯେ ଗୋଟିଏ ବେଙ୍ଗର ଗୋଡ଼ ବିଦ୍ୟୁତ କଳର ଗୋଟିଏ ମୁଣ୍ଡ ସହିତ ସଂଯୁକ୍ତ ଥିଲେ ହଠାତ୍ ଆକୁଞ୍ଚିତ ହୋଇ ଯାଉଛି । ଏଥିରୁ ସେ "ଜୀବ ବିଦ୍ୟୁତ" ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଗଭୀର ଗବେଷଣାରେ ଲାଗି ପଡ଼ିଲେ । ଯଦି ବେଙ୍ଗର ଗୋଡ଼ ଏପରି ଝୁଲାଯାଇଛି ଯେ ତା'ର ଖୋଲାଥିବା ସ୍ନାୟୁ ଗୋଟିଏ ଧାତବ ପ୍ଲେଟକୁ (କହ ରୁପା) ଛୁଉଁଛି, ତେବେ ଯେତେବେଳେ ଗୋଡ଼ଟି ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ଧାତୁକୁ କହ ଲୁହା (say iron) ଛୁଉଁଛି; ସେତେବେଳେ ଯାଇ ଆକୁଞ୍ଚିତ ହେଉଛି । ଦୁଇଟି ଏକା ପ୍ରକାରର ଧାତୁ ହେଲାବେଳେ ମଧ୍ୟ ସାମାନ୍ୟ ଆକୁଞ୍ଚନ ସେ ଦେଖି ପାରୁଥିଲେ । ଏଥିରୁ ତାଙ୍କର ବିଶ୍ୱାସ ହେଲା ଯେ ସ୍ନାୟୁ ବିଦ୍ୟୁତର ଉତ୍ସ ଭାବରେ କାର୍ଯ୍ୟ କରୁଛି ଏବଂ ଧାତୁ କେବଳ ପରିବାହୀର କାର୍ଯ୍ୟ କରୁଛି । ଭୋଲ୍ଟା ପରେ ଦେଖିଲେ ଯେ ଅଜୈବିକ ପଦାର୍ଥ ବ୍ୟବହାର ମଧ୍ୟ ବିଭବ ସୃଷ୍ଟି କରାଯାଉଛି ଏବଂ ୧୮୦୦ ମସିହାରେ ସେ ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରବାହ ପାଇଁ ପ୍ରଥମ ବ୍ୟାଟେରୀ ତିଆରି କଲେ । ଏହାହିଁ ଇତିହାସ ପ୍ରସିଦ୍ଧ ଭୋଲ୍ଟାସ୍ତମ୍ଭ, ଲୁଣପାଣି ଭିଜା ଗ୍ରୁପାକାଗଜ ଦ୍ୱାରା ଅଲଗା ଅଲଗା ହୋଇଥିବା ଦସ୍ତା ଓ ତମ୍ବା ପ୍ଲେଟର ଏକାନ୍ତର ସମାବେଶ । ଲୁଣପାଣି ବା ଲଘୁଏସିଡ଼ କେତେକ କପ୍‌ରେ ନେଇ ସେଥିରେ ଦସ୍ତା ଓ ତମ୍ବାର ପାତ ପକାଇ, ଏସବୁ ଯୋଡ଼ିଦେଇ ସେ ବ୍ୟାଟେରୀ ତିଆରି ବର୍ଣ୍ଣନା କରିଛନ୍ତି । ଭୋଲ୍ଟା ଏହି ଫଳାଫଳକୁ ଦୁଇଟି ବିଭିନ୍ନ ଧାତୁ ସଂସ୍ପର୍ଶରେ ରହିବାରୁ ଘଟୁଛି ବୋଲି କହିଥିଲେ । ଆମେ ବର୍ତ୍ତମାନ ଜାଣୁ ଯେ ବିଦ୍ୟୁତପ୍ରେରଣ ବଳ ଧାତୁମାନଙ୍କର ବିଦ୍ୟୁତ ବିଶ୍ଳେଷ୍ୟ ସହିତ ସଂଯୋଗ ସ୍ଥଳରେ ରସାୟନ ପ୍ରକ୍ରିୟାଦ୍ୱାରା ଉତ୍ପନ୍ନ ହେଉଛି ।

ବିଦ୍ୟୁତର ଏହି ନୂତନ ଉତ୍ସ ଅତି ଆଗ୍ରହର ସହିତ ଗୃହୀତ ହେଲା । ଭୋଲ୍‌ଟାଙ୍କର କାର୍ଯ୍ୟ କଥା ଶୁଣିବାର କେତେ ସପ୍ତାହ ପରେ ନିକଲ୍‌ସନ ଓ କାର୍ଲିସ୍‌ଲ ବିଦ୍ୟୁତସ୍ରୋତ ଦ୍ୱାରା ଜଳର ବିଭଜନ ଆବିଷ୍କାର କରିଥିଲେ । ଗୋଟିଏ ବିଦ୍ୟୁତ କୁଣ୍ଡଳୀ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ଦୁଇଟି ତାରକୁ ଭଲ ଭାବରେ ଯୋଡ଼ିଦେବାପାଇଁ ସେ ଦୁଇତାର ମଧ୍ୟରେ ସେମାନେ ବିନ୍ଦୁଏ ପାଣି ଦେଇଦେଲେ । ହଠାତ୍ ସେଥିରୁ ଗ୍ୟାସ ବାହାରିବା ସେମାନେ ଦେଖିପାରିଲେ ଓ ଏହି ଗ୍ୟାସ ଉଦ୍‌ଜାନ ବୋଲି ଚିହ୍ନି ପାରିଲେ । ଏହାହିଁ ବିଦ୍ୟୁତ ବିଶ୍ଳେଷଣ ଆଲୋଚନାର ଆରମ୍ଭ । ଏହି ସମସ୍ତ ମଧ୍ୟରେ ବିଦ୍ୟୁତର ତାପଜ ଗୁଣ ଓ ଅର୍କ ଆଲୋକ ଆବିଷ୍କୃତ ହୋଇଥିଲା ।

ବହୁ ଆଗରୁ ସନ୍ଦେହ କରାଯାଉଥିଲା ଯେ ବିଦ୍ୟୁତ ଓ ଚୁମ୍ବକ ମଧ୍ୟରେ କୌଣସି ସମ୍ବନ୍ଧ ଅଛି । କିନ୍ତୁ ଏ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ପ୍ରଥମ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ଆବିଷ୍କାର ଅର୍ଷ୍ଟେଡ୍‌ଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ୧୮୨୦ ମସିହାରେ ହୋଇଥିଲା । ସେ ଦେଖାଇଲେ ଯେ ଯେଉଁ ତାର ମଧ୍ୟରେ ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରବାହିତ ହୁଏ, ଗୋଟିଏ ସୂଚୀ ଚୁମ୍ବକ ତା ପ୍ରତି ଲମ୍ବ ଭାବରେ ରହେ । ଏହାର ଅଳ୍ପ ସମୟ ପରେ ବାୟୋଟ୍ ଓ ସେଭାର୍ଟ୍ ଗୋଟିଏ ସରଳ ଲମ୍ବା ବିଦ୍ୟୁତ ସ୍ରୋତର କ୍ଷେତ୍ରର ନିୟମ ଆବିଷ୍କାର କରିଥିଲେ । ୧୮୨୦ ମସିହାର ଶେଷଆଡ଼କୁ ବାୟୋଟ୍ ସୂତ୍ର ଦେଲେ

$$d\vec{B} = \alpha I \frac{\vec{ds} \times \vec{r}}{r^2}$$

$I\vec{d}\vec{s}$ ମୌଳିକ ସ୍ରୋତ ଲାଗି ଏଥିରେ $\vec{B}$ ଚୁମ୍ବକ ପ୍ରେରିତ ହୋଇଥାଏ । ଏହି ସମୀକରଣକୁ ସାଧାରଣତଃ ଭ୍ରମବଶତଃ "ଆମ୍ପିୟାର ସୂତ୍ର" ବୋଲି କୁହାଯାଏ । ଏହାର ଠିକ୍ ପରେ ଜ୍ଞାନବନ୍ତ ଫରାସୀ ଭୌତିକ ବିଜ୍ଞାନୀ ଆମ୍ପିୟର (୧୭୭୫—୧୮୩୬) ଦେଖାଇଲେ ଯେ ଆବଦ୍ଧ ବିଦ୍ୟୁତ୍‌ସ୍ରୋତ ଚୁମ୍ବକୀୟ ଫଳାଫଳରେ ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକ କବଚ ସହ ସମାନ । ତେଣୁ ଏହି ଧାରଣାକୁ ଓଲଟାଇ ଦେଇ ସେ କହିଲେ ଯେ ଗୋଟିଏ ସ୍ରୋତ ଚଳନ ଫଳରେ ଚୁମ୍ବକ ନିଜେ ସୃଷ୍ଟି ହୋଇ ପାରିଥାଏ । ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକୀୟ କ୍ଷେତ୍ରର ସ୍ରୋତ ଉପରେ ପ୍ରଭାବ ସେ ଆବିଷ୍କାର କରିଥିଲେ । ପ୍ରଥମ ଆବିଷ୍କାରର ୫ବର୍ଷ ମଧ୍ୟରେ ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକର ମୂଳଦୁଆ ପଡ଼ିଗଲା ।

1.26 ମାଇକେଲ ଫାରାଡେ :

(କ) ସଂକ୍ଷିପ୍ତ ଜୀବନୀ : ୧୭୯୧ରେ ଲଣ୍ଡନ ନିକଟରେ ଗୋଟିଏ ଛୋଟିଆ ଗ୍ରାମରେ ମାଇକେଲ ଫାରାଡେ ଜନ୍ମ ହୋଇଥିଲେ । ପରିବାର ପୋଷଣରେ ତାଙ୍କର ମା'ଙ୍କୁ ସାହାଯ୍ୟ କରିବା ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ବହି ଓ ମନୋହାରୀ ଦୋକାନରେ ସେ ୧୮୦୪ ମସିହାରେ ବୋଲକରି ପିଲା ଭାବରେ କାମ ଆରମ୍ଭ କରିଥିଲେ । ଏହାର ପରବର୍ତ୍ତୀ ତାଙ୍କର ମାଲିକ ତାଙ୍କୁ ବହିବନ୍ଧା ଶିକ୍ଷା କରିବା ପରେ ସାହାଯ୍ୟକାରୀ କାମରେ ନିଯୋଗ କରିଥିଲେ । ଯେଉଁ ବହିଗୁଡ଼ିକ ଦୋକାନରେ ଥାଏ, ବିଶ୍ରାମ ସମୟରେ ସେଗୁଡ଼ିକ ପଢ଼ି ଫାରାଡେ ଏହି ସମୟକୁ ଭଲଭାବରେ କଟାଉଥିଲେ । ସେ ବିଶେଷଭାବରେ ବିଜ୍ଞାନ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ପୁସ୍ତକରେ ବେଶୀ ଆଗ୍ରହୀ ଥିଲେ ଏବଂ ପାଠ ପଢ଼ିଲାବେଳେ "ସପ୍ତାହକୁ ସାମାନ୍ୟ କେତେକ ପେନ୍ସନ ଖର୍ଚ୍ଚରେ ଯେଉଁ ପରୀକ୍ଷାଗୁଡ଼ିକ ସମ୍ଭବ", ସେହିପରି ସହଜ ପରୀକ୍ଷାଗୁଡ଼ିକ କରି ଭବିଷ୍ୟତରେ ଜଣେ ଖ୍ୟାତନାମା ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷକ ହେବେ ବୋଲି ସୂଚନା ଦେଇଥିଲେ ।

ନିଜେ ନିଜେ ପଢ଼ିବା ଛଡ଼ା ଫାରାଡେଙ୍କର ବିଜ୍ଞାନ ଶିକ୍ଷା ୧୮୧୨ ମସିହାର ଶୀତକାଳରେ ମିଷ୍ଟର ଟାଲମ୍ଙ୍କର ପ୍ରାକୃତିକ ଦର୍ଶନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ୧୨ଟି ବକ୍ତୃତା ଓ ସାର୍ ହାମ୍ଫ୍ରି ଡେଭିଙ୍କର ରସାୟନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ୪ଟି ବକ୍ତୃତାରେ ସୀମିତ ଥିଲା । ସେତେବେଳେ ଡେଭି ରୟାଲ ଇନ୍‌ଷ୍ଟିଚ୍ୟୁସନର ଡାଇରେକ୍ଟର ଥିଲେ । ଫାରାଡେ ଏହି ବକ୍ତୃତାଗୁଡ଼ିକର ଗୋଟିଏ ସୁନ୍ଦର ନୋଟ୍ ତିଆରି କରି, ସେହି ନୋଟ୍ ଦ୍ୱାରା ନିଜର ଆଗ୍ରହର ପ୍ରମାଣ ଦେଇ ରୟାଲ ଇନ୍‌ଷ୍ଟିଚ୍ୟୁଟ୍‌ରେ ଯେତେ ଇଚ୍ଛା ସେତେ ଶ୍ରେଷ୍ଠ ଚାକିରି ପାଇଁ ନିବେଦନ କରି ଡେଭିଙ୍କ ପାଖକୁ ସାହସ ସହିତ ଚିଠିଟିଏ ଲେଖିଲେ । ଡେଭି ଏହି ନୋଟ୍ ଓ ଚିଠି ଦେଖି ଏପରି ମୁଗ୍ଧ ହୋଇଗଲେ ଯେ ୧୮୧୩ ମସିହା ମାର୍ଚ୍ଚ ମାସରେ ଫାରାଡେଙ୍କୁ ଯନ୍ତ୍ରପାତି ଓ ବକ୍ତୃତାର ସହକାରୀ ଭାବରେ ସପ୍ତାହକୁ ୨୫ ଶିଲିଂ ବେତନରେ ନିଯୁକ୍ତି ଦେଲେ । ୧୮୧୩ ମସିହା ଅକ୍ଟୋବର ମାସରେ ସାର୍ ଡେଭି ଓ ଲେଡ଼ି ଡେଭି ୟୁରୋପର ବହୁ ପ୍ରଧାନ ପ୍ରଧାନ ବୈଜ୍ଞାନିକ କେନ୍ଦ୍ର ଦେଖିବାପାଇଁ ମହାଦେଶକୁ ଭ୍ରମଣରେ ଗଲାବେଳେ ଫାରାଡେ ତାଙ୍କ ସାଙ୍ଗରେ ଗଲେ । ସହକାରୀ ହେଲେ ମଧ୍ୟ ନିଜର ବୁଦ୍ଧି, ନମ୍ରତା ଓ ଭଦ୍ର ବ୍ୟବହାରରେ ଅନ୍ୟମାନଙ୍କୁ ଫାରାଡେ ମୁଗ୍ଧ କରି ଦେଇଥିଲେ । ଜଣେ ଲେଖକ କହିଥିଲେ, ''ଆମେ ଡେଭିଙ୍କୁ ପ୍ରଶଂସା କରିଥିଲୁ, ଆମେ ଫାରାଡେଙ୍କୁ ଆଦର କରିଥିଲୁ ।''

ଇଂଲଣ୍ଡକୁ ଫେରିବା ପରେ ଡେଭିଙ୍କ ଉତ୍ସାହରେ ଫାରାଡେ ପ୍ରଥମେ ରସାୟନ ଶାସ୍ତ୍ରରେ ନିଜର ନବୀନ ଗବେଷଣା ଆରମ୍ଭ କରିଥିଲେ । ୧୮୧୬ରୁ ୧୮୧୯ ମଧ୍ୟରେ ସେ ୩୭ଟି ପ୍ରବନ୍ଧ ପ୍ରକାଶ କରିଥିଲେ । ଏଗୁଡ଼ିକ ବିଭିନ୍ନ ବିଷୟରେ ଥିଲା, ଯଥା :—କୈଶିକ ନଳୀ ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଗ୍ୟାସ ନିର୍ଗମନ, ଅଗ୍ନିଶିଖା ଦ୍ୱାରା ନଳ ମଧ୍ୟରେ ଶବ୍ଦ ଉତ୍ପାଦନ, ଧାତୁର ଜ୍ୱଳନ ଏବଂ ମାଙ୍ଗାନିଜକୁ ଲୌହଠାରୁ ପୃଥକୀକରଣ । ପ୍ରାୟ ୧୮୨୦ ବେଳକୁ ସେ ବିଦ୍ୟୁତ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଗବେଷଣା ଆରମ୍ଭ କଲେ; ଏହି କାର୍ଯ୍ୟ ପ୍ରାୟ ୪୦ବର୍ଷ କାଳ ଲାଗି ଯାଇଥିଲା ।

ତାଙ୍କର ବୈଜ୍ଞାନିକ ଜୀବନର ପ୍ରାୟ ସମସ୍ତ ଅଂଶ ରୟାଲ ଇନ୍‌ଷ୍ଟିଚ୍ୟୁସନରେ କଟିଥିଲା । ୧୮୨୫ ମସିହାରେ ତାଙ୍କୁ ସେହି ଗବେଷଣାଗାରର ଡାଇରେକ୍‌ଟର କରି ଦିଆ ଯାଇଥିଲା । ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ବହୁ ଅନୁଷ୍ଠାନ ପାଇଁ ନିମନ୍ତ୍ରଣ ସେ ପ୍ରତ୍ୟାଖ୍ୟାନ କରି ବିଜ୍ଞାନ ସାଧନା ପାଇଁ ତାଙ୍କର ଏହି ପ୍ରିୟ ଅନୁଷ୍ଠାନରେ ପଡ଼ି ରହିଥିଲେ । ଅନ୍ୟ ସ୍ଥାନକୁ ଯାଇଥିଲେ ସେ ଧନୀ ହୋଇପାରିଥାନ୍ତେ । ଏପ୍ରକାର ନିଷ୍ଠା କ୍ୱଚିତ ଦେଖାଯାଏ । ତାଙ୍କର ଯେଉଁ ସଫଳତା ସାରା ବୈଜ୍ଞାନିକ ଜଗତରେ ତାଙ୍କୁ ସମ୍ମାନିତ କରିଥିଲା । ତାର ଗୂଢ଼କଥା ତାଙ୍କର ବହୁ ନୋଟ୍‌ରେ ଥିବା କେତେକ ଉକ୍ତିରୁ ଜଣାପଡ଼େ ।

ଉଚ୍ଚ ଅଭିଳାଷ ରଖ, କିନ୍ତୁ କଳ୍ପନାବିଳାସୀ ହୁଅନାହିଁ । ସଫଳତା ପାଇଁ ଚେଷ୍ଟାକର—ସଫଳ ନହେବା ଆଶଙ୍କା ରଖ । ଦାର୍ଶନିକ କେଉଁ ଗୁଣ ଲାଗି ସଫଳ ହୁଅନ୍ତି, ତାହା ଜାଣିବାରେ ଚେଷ୍ଟା ମୋପାଇଁ ପ୍ରହେଳିକା ସୃଷ୍ଟି କରିଛି । ଏହା କଣ ସାମାନ୍ୟ ସାଧାରଣ ଜ୍ଞାନ ଓ ବୁଦ୍ଧି ସହ ଅଧ୍ୟବସାୟ ଓ ଅକ୍ଲାନ୍ତ ପରିଶ୍ରମ ଫଳରେ ହୁଏ ? ସମ୍ମାନ ପାଇବାକୁ ଇଚ୍ଛା କରି ଓ ପ୍ରକୃତ ଜ୍ଞାନ ଆହରଣର ଚେଷ୍ଟା ନକରି ଅନେକେ ହାରିଯାଇ ନଥାନ୍ତି ··? ମୁଁ ନିଶ୍ଚିତ ଭାବରେ ଅନେକଙ୍କୁ ଜାଣେ ଯେଉଁମାନେ କି ବିଜ୍ଞାନର ସଫଳ ଅନୁସନ୍ଧିତ୍ସୁ ହୋଇପାରିଥାନ୍ତେ; ନିଜ ପାଇଁ ସୁନାମ ଅର୍ଜ୍ଜନ କରିବାକୁ ଓ ଦୁନିଆର ପ୍ରଶଂସା-ସୂଚକ ପୁରସ୍କାର ପାଇବାକୁ ସେମାନେ ଇଚ୍ଛା କରିଥିଲେ, କିଛି କିଛି ପାଇଲେ ମଧ୍ୟ । ଏଥିରେ ସେମାନଙ୍କର ମନ ମଧ୍ୟରେ କେତେକ ପରିମାଣରେ ଈର୍ଷା ବା ଦୁଃଖ ରହିଯାଏ । ମନର ଏପରି ଅବସ୍ଥାରେ କେହି ବିଜ୍ଞାନରେ କିଛି ଆବିଷ୍କାର କରି ପାରିବ ବୋଲି ମୁଁ ଭାବି ପାରୁନାହିଁ ।

(ଖ) ମୋଟରର ନୀତି :

୧୮୨୧ ମସିହା ଏପ୍ରିଲ ମାସରେ ରୟାଲ ଇନ୍‌ଷ୍ଟିଚ୍ୟୁସନରେ ଗୋଟିଏ ବିଦ୍ୟୁତ ସ୍ରୋତବାହୀ ତାର ନିକଟକୁ ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକର ଏକ ମେରୁକୁ ଆଣିବାଦ୍ୱାରା ତାରଟି ନିଜ ଅକ୍ଷରେ ଘୂରିବା ଘଟଣା ଉଲାଷ୍ଟନ ଦେଖାଇବାକୁ ଚେଷ୍ଟା କରିଥିଲେ । ସେହିଦିନଠାରୁ ଫାରାଡେ ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକରେ ଆଗ୍ରହୀ ହୋଇଥିଲେ । ଉଲାଷ୍ଟନଙ୍କର ଏହି ପରୀକ୍ଷାଟି ସଫଳ ହୋଇ ନଥିଲା, ମାତ୍ର ଏହା ଫାରାଡେଙ୍କ ମନରେ ଚଞ୍ଚଳତା ଆଣି ଦେଇଥିଲା, ସେ ଏହି ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଗବେଷଣା କରିବାପାଇଁ ଦୃଢ଼ ସଂକଳ୍ପ ହେଲେ । ଯାହା କିଛି ଅନ୍ୟମାନେ କରିଥିଲେ ସେ ପ୍ରଥମେ ସେଗୁଡ଼ିକୁ ପଢ଼ିଲେ; ସେମାନେ କରିଥିବା ପରୀକ୍ଷାରୁ ଅନେକଗୁଡ଼ିକୁ ସେ ନିଜେ ପୁଣି ପରୀକ୍ଷା କଲେ । ଏହିପରି ପରୀକ୍ଷାସବୁ କଲାବେଳେ ସେ ଦେଖିଲେ ଯେ ଯେତେବେଳେ ଚୁମ୍ବକ ମେରୁ ତାର ପାଖକୁ ଆସୁଛି, "ସେତେବେଳେ ତାପାଖରୁ ଲମ୍ବ ଭାବରେ ଗ୍ଭଲିଯିବାପାଇଁ ତାରଟି ଚେଷ୍ଟାକରି କଲୁ ପ୍ରକୃତରେ ଗୋଟିଏ ବୃତ୍ତରେ ଏହାର ଚ୍ଚରପାଖରେ ଘୂରିବାପାଇଁ ତାହା ଚେଷ୍ଟିତ ।"

୧୮୨୧ ମସିହା ସେପ୍ଟେମ୍ବର ୪ତାରିଖରେ ସେ ତାଙ୍କର ଲାବରେଟରୀ ନୋଟ୍‌-ଖାତାରେ ଲେଖିଥିଲେ :

ତାର ଓ ଚୁମ୍ବକ ଘୂରିବାପାଇଁ ଯନ୍ତ୍ରପାତି । ଗୋଟିଏ ଗଭୀରଆ ମେସିନ୍, ତା ତଳ-ଆଡ଼କୁ ସାମାନ୍ୟ ମହମ ଓ ପରେ ପାରଦରେ ପୂର୍ଣ୍ଣ । ମହମରେ ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକ ପୋତି ଦିଆଯାଇଛି ଯେପରିକି ମେରୁ ପାରଦର ଠିକ୍ ଉପରକୁ ରହିଛି । ତାପରେ ତାର ଖଣ୍ଡେ, କର୍କରେ ଭସାଇ ଦିଆଯାଇଛି, ତା'ର ତଳ ମୁଣ୍ଡଟି ପାରଦରେ ବୁଡ଼ି ରହିଛି ଏବଂ ଉପର ରୁପା କପ ଭିତରକୁ ।

ଯେତେବେଳେ ତାର ମଧ୍ୟରେ ବିଦ୍ୟୁତ ସ୍ରୋତ ଗ୍ଭଲିଲା, ତାହା ଚୁମ୍ବକ ଚ୍ଚରପଟେ ଅନବରତ ବୁଲିବାକୁ ଲାଗିଲା । ଏହାହିଁ ପ୍ରଥମ ବିଦ୍ୟୁତ ମୋଟର ।

(ଗ) ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ପ୍ରେରଣ :

ଅର୍‌ଷ୍ଟେଡ଼୍‌ଙ୍କର ପରୀକ୍ଷା ଓ ଏହାପରେ ହୋଇଥିବା କାର୍ଯ୍ୟସବୁ ବିଦ୍ୟୁତରୁ କିପରି ଚୁମ୍ବକ ପ୍ରସ୍ତୁତ ହେବ ସ୍ପଷ୍ଟ ଦେଖାଇ ଦେଇଥିଲା । ଫାରାଡ଼େଙ୍କର ବୈଜ୍ଞାନିକ ଦର୍ଶନ ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ମତ ହେଲା ଯେ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଭୌତିକ ସମ୍ବନ୍ଧ (କାର୍ଯ୍ୟ ଓ କାରଣ) ବିପରୀତ

ମଧ୍ୟ ଅଛି । ଯଦି ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକ ସୃଷ୍ଟି କରିପାରେ, ତେବେ ଚୁମ୍ବକ ମଧ୍ୟ ବିଦ୍ୟୁତ ସୃଷ୍ଟି କରିପାରେ । ଏହା ଦେଖାଇବା ପାଇଁ ତାଙ୍କର ବହୁ ଚେଷ୍ଟା ବିଫଳ ହେଲା । ୧୮୨୫ରେ ସେ ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକ ସ୍ଥିରପଟେ ଗୁଡ଼େଇ ହୋଇ ରହିଥିବା ଗୋଟାଏ ତାର ମୋଡ଼ାରେ ବିଦ୍ୟୁତ ସ୍ରୋତ ଦେଖିବାକୁ ଇଚ୍ଛା କଲେ, କାରଣ ଏହା ତାଙ୍କୁ ବିପରୀତ ପରୀକ୍ଷା ବୋଲି ମନେ ହେଲା । ପରେ ସେ ଗୋଟିଏ ବିଦ୍ୟୁତସ୍ରୋତବାହୀ ତାରର ପାଖରେ ଆଉ ଗୋଟିଏ ତାର ରଖି ସେଥିରେ ବିଦ୍ୟୁତସ୍ରୋତ ପାଇବାକୁ ଚେଷ୍ଟା କଲେ । ଅନ୍ୟ ବୈଜ୍ଞାନିକମାନେ ଏହିପରି ଫଳ ପାଇବାକୁ ଚେଷ୍ଟା କରି ଅକୃତକାର୍ଯ୍ୟ ହୋଇଥିଲେ । ସେମାନେ ସମସ୍ତେ ଗୋଟିଏ ଅପରିବର୍ତ୍ତୀ ସ୍ରୋତ ପାଇବାକୁ ଇଚ୍ଛା କରିଥିଲେ ।

କିନ୍ତୁ ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷକମାନେ ପ୍ରେରିତ ସ୍ରୋତ ଆବିଷ୍କାରର ଅନେକଥର ବହୁ ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ ହୋଇଥିଲେ । ୧୮୨୪ରେ ଆରାଗୋ ଦେଖିଲେ ଯେ ଗୋଟିଏ ତମ୍ବା ତାର ଉପରେ ସୂଚୀ ଚୁମ୍ବକଟିଏ ଝୁଲୁଥିଲେ, ଏହାର ସ୍ପନ୍ଦନ କ୍ରମେ ମନ୍ଦିତ ହେଉଅଛି । ତଳର ତମ୍ବା ପ୍ଲେଟକୁ ଘୁରାଇ ସୂଚୀଟିକୁ ଘୁରାଇବାଦ୍ୱାରା ଏହି କାର୍ଯ୍ୟକୁ ଆଗେଇ ନିଆଯାଇଥିଲା । ଘୂରୁଥିବା ପ୍ଲେଟର ବିଦ୍ୟୁତ ପରିବହନ କ୍ଷମତା ଯେତେ ବେଶୀ, ଏହି "ଯୋଷାରିବା" ଫଳ ସେତେ ବେଶୀ ବୋଲି ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଥିଲା । ଏପରିକି ତମ୍ବା ପ୍ଲେଟଟି ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ଦିଗରେ କଟାଇଥିଲେ ଚୁମ୍ବକକୁ ଯୋଷାରିବା କାର୍ଯ୍ୟ କମିଯାଏ ବୋଲି ମଧ୍ୟ ଦେଖାଯାଇଥିଲା । ଏହି ପରୀକ୍ଷାଗୁଡ଼ିକ କେବଳ ସୂଚନା ଦେଇଥିଲେ, ମାତ୍ର ପ୍ରକୃତ ତଥ୍ୟ ଅନାବିଷ୍କୃତ ଥିଲା ।

୧୮୩୧ ମସିହାରେ ଫାରାଡେ ଏହି ସମସ୍ୟାଟିକୁ ପଞ୍ଚମଥର ପାଇଁ ଚେଷ୍ଟା କଲେ । ଗୋଟିଏ ମୋଡ଼ା ଭିତରେ ଗୋଟିଏ ଦଣ୍ଡ ଚୁମ୍ବକ ନ ରଖି, ସେ ୬ଇଞ୍ଚ ବାହ୍ୟ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ଲୁହା ବୃତ୍ତ ନେଇ ତା'ଉପରେ କ ଓ ଖ ଦୁଇଟି କଏଲ୍‌କୁ "ସୂତା ଓ କାଲିକୋ ସାହାଯ୍ୟରେ ପରସ୍ପରଠାରୁ ଅଲଗା କରି" ଗୁଡ଼ାଇଲେ । ତା ମଧ୍ୟରେ ବିଦ୍ୟୁତ ସ୍ରୋତର ସନ୍ଧାନ ପାଇବା ପାଇଁ "ଏହାର ଦୁଇ ମୁଣ୍ଡରେ ତମ୍ବା ତାର ଯୋଡ଼ି ତା ସାହାଯ୍ୟରେ ଦୂରକୁ ନେଇ ଗୋଟିଏ ସୂଚୀ ଚୁମ୍ବକ ଉପରେ ଚଳାଇନେଲେ ।" ଯେତେବେଳେ କ କଏଲ୍‌କୁ ବ୍ୟାଟେରୀ ସହିତ ଲଗାଗଲା । "ସୂଚୀ ଚୁମ୍ବକ ଉପରେ ଜାଣିହେବା ପରି ପ୍ରଭାବ ପଡ଼ିଲା । ଏହା ସ୍ପନ୍ଦିତ ହେଲା ଓ ଶେଷରେ ମୂଳ ଅବସ୍ଥାରେ ରହିଗଲା ।

ଳ ବଏଲକୁ ବ୍ୟାଟେରୀରୁ ଅଲଗା କରି ଦେଲାବେଳେ ପୁଣି ଥରେ ସୂଚୀ ଦୋହଲିଲା ।” ଫାରାଡ଼େ ଅବିରାମ ଫଳ ପାଇବାପାଇଁ ଆଶା କରୁଥିଲେ ବି ଏହି କ୍ଷଣିକ ସ୍ରୋତର ପ୍ରାଧାନ୍ୟ ବୁଝି ପାରିଲେ । ଅଗଷ୍ଟ ୩୦ ତାରିଖରେ ସେ ଲେଖିଲେ, “ଏହି କ୍ଷଣିକ ଫଳାଫଳ କ’ଣ ଆରାଗୋଙ୍କ ପରୀକ୍ଷାରେ ଦେଖାଯାଉଥିବା ଧାତୁର ସ୍ଥିର ଅବସ୍ଥା ଓ ଗତିଶୀଳ ଅବସ୍ଥାରେ ଶକ୍ତିର ପ୍ରଭେଦ ସଙ୍ଗେ ସଂପୃକ୍ତ କି ?”

ଏହି ସାମାନ୍ୟ ସୂଚନାରୁ ଫାରାଡେ ଅତି ଶୀଘ୍ର ପ୍ରକୃତ ତଥ୍ୟ ଆବିଷ୍କାର କରିବାକୁ ବାହାରି ପଡ଼ିଲେ । ତାଙ୍କ ପରୀକ୍ଷାର ତୃତୀୟ ଦିନ ସେ ଗୋଟିଏ ଲୁହା ସିଲିଣ୍ଡର ଚାରିପଟେ ତାର ଗୁଡ଼ାଇଦେଲେ ଏବଂ ସେହି ସିଲିଣ୍ଡରଟିର ଗୋଟିଏ ମୁଣ୍ଡ ଗୋଟିଏ ଚର ଚୁମ୍ବକର ଉତ୍ତରମେରୁ ସହିତ ଓ ଅନ୍ୟ ମୁଣ୍ଡଟି ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ଚରଚୁମ୍ବକର ଦକ୍ଷିଣମେରୁ ସହିତ ଲଗାଇ ରଖିଦେଲେ । ତାର କଏଲଟି ଗୋଟିଏ ଗାଲ୍‌ଭାନୋମିଟରରେ ଯୋଡ଼ା ହୋଇଥାଏ ।

ଯେତେଥର ଉତ୍ତର ବା ଦକ୍ଷିଣ ମେରୁ ସହିତ ଚୁମ୍ବକୀୟ ସ୍ପର୍ଶ କରାଯାଏ ବା ଛିଙ୍ଗି ଦିଆଯାଏ, ସେତେଥର ଗାଲଭାନୋମିଟରରେ ଚୁମ୍ବକ ପ୍ରଭାବ ଦେଖାଯାଏ—ଏହି ପ୍ରଭାବ, ଠିକ୍ ପୂର୍ବଥର ପରି, କେବଳ କ୍ଷଣିକ, ଚର ନୁହେଁ ।

ଚତୁର୍ଥ ଦିନ ସେ ଦେଖାଇଲେ ଯେ ଲୁହାର ଉପସ୍ଥିତିର ଆବଶ୍ୟକତା ନାହିଁ, ଗୋଟିଏ କଏଲ୍‌ର ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ କଏଲ ଉପରେ ମଧ୍ୟ ଏହି ପ୍ରଭାବ ହେବ ।

ପଞ୍ଚମଦିନ : ଗୋଟିଏ ସିଲିଣ୍ଡର ଆକାରର ଦଣ୍ଡ ଚୁମ୍ବକ···ଏହାର ଗୋଟିଏ ମୁଣ୍ଡ କଏଲର ଗୋଟିଏ ମୁଣ୍ଡ ଭିତରକୁ ଟିକିଏ ପଶେଇ ଦିଆଯାଇଅଛି, ତାପରେ ଏହାକୁ ସମସ୍ତ କଏଲ ଭିତରେ ହଠାତ୍ ପୂରାଇ ଦିଆଗଲା ଏବଂ ଗାଲ୍‌ଭାନୋମିଟରର ସୂଚୀ ଗତି କଲା; ତାପରେ ଟାଣି ନିଆଗଲା, ପୁଣି ଥରେ ଗାଲଭାନୋମିଟରର ସୂଚୀ ଗତି କଲା, କିନ୍ତୁ ବିପରୀତ ଦିଗରେ । ଯେତେଥର ଚୁମ୍ବକଟି ପଶାଇ ଦିଆଗଲା ବା ଟାଣି ନିଆଗଲା, ପ୍ରତିଥର ଏହିପରି ପ୍ରଭାବ ଦେଖାଗଲା । ତେଣୁ କେବଳ ନିକଟତର ହେବାଦ୍ୱାରା ଏକ ବିଦ୍ୟୁତ ତରଙ୍ଗ ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଥାଏ, ଏକକ ଅବସ୍ଥାନରୁ ସୃଷ୍ଟି ହୁଏନାହିଁ ।

ଶେଷରେ ସେ “ଚୁମ୍ବକକୁ ବିଦ୍ୟୁତରେ ପରିଣତ କରି ପାରିଲେ ।” ଏଥିରେ ପ୍ରଧାନ ଆବଶ୍ୟକତା ହେଲା ଆପେକ୍ଷିକ ଗତି ବା ଅବସ୍ଥାର ପରିବର୍ତ୍ତନ । ନବମ ଦିନ

ଗୋଟିଏ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ଚୁମ୍ବକର ମେରୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ତମ୍ବା ପାତ୍ର ଘୂରାଇ ସେ ଅବିରତ ସ୍ରୋତ ଚଳାଇଲେ; ଏହି ପାତ୍ରର ଧାର୍‌·ଗୋଟିଏ ଅକ୍ଷଠାରେ ଗୋଟିଏ ଗାଲ୍-ଭାନୋମିଟର ସହ ଯୋଡ଼ା ହୋଇଥାଏ । ଏହାହିଁ ଏବର ଜଣାଶୁଣା ଫାରାଡେ ପାତ୍ର ଡାଇନାମୋ; ପ୍ରଥମ ଡାଇନାମୋ ବିଦ୍ୟୁତ କଳ ।

ଏହିପରି ବର୍ଷ ବର୍ଷ ବ୍ୟାପି ଧୈର୍ଯ୍ୟ ଓ ଅବିରତ ଚେଷ୍ଟାକରି ପରୀକ୍ଷା କରିବା ପରେ ଲାବରେଟୋରୀରେ କେତେଦିନର କାମ ଫଳରେ ଯେଉଁ ଘଟଣାଟି ଆବିଷ୍କାର କଲେ; ତାପାଇଁ ତାଙ୍କ ସମୟରେ ବଡ଼ ବଡ଼ ବୈଜ୍ଞାନିକମାନେ ବୃଥାରେ ବହୁ ଚେଷ୍ଟା କରିଥିଲେ—ଏହାହିଁ ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକ ପ୍ରେରଣ ।

ଏହି ଆବିଷ୍କାର ପରେ ଫାରାଡେ ତାଙ୍କର ନୂତନ ଆବିଷ୍କୃତ ପ୍ରଣାଳୀର ପରୀକ୍ଷା ଓ ପ୍ରସାର ପାଇଁ ନାନାପ୍ରକାର ବିଦ୍ୟୁତ କଳ ତିଆରି କରିଥିଲେ । ଏଥିରୁ ଗୋଟିଏ କଳରେ ଗୋଟିଏ ଆୟତାକାର ତାର ଘୂରୁଥିଲା; ଏଥିରେ ଗୋଟିଏ କମ୍ୟୁଟେଟର୍ ଲଗା ହୋଇଥିଲା; ଏହା ଆଧୁନିକ ଡାଇନାମୋର ରୂପ ପରି । କିନ୍ତୁ ତାଙ୍କର ଆଗ୍ରହ ସର୍ବଦା ମୌଳିକ ବିଜ୍ଞାନରେ ହିଁ ରହିଥିଲା, କାରଣ ସେ ଲେଖିଥିଲେ :

ହେଲେ, ମୋର ନୂତନ ତଥ୍ୟ ଓ ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରେରଣ ଉପରେ ନିର୍ଭରଶୀଳ ଘଟଣା ଆବିଷ୍କାର କରିବାରେ ହିଁ ଅଧିକ ଆଗ୍ରହ; ଆବିଷ୍କୃତ ତଥ୍ୟଗୁଡ଼ିକର ଉନ୍ନତି କରିବାରେ ମୋର ସେତେ ଆଗ୍ରହ ନାହିଁ କାରଣ ଏହା କାଳକ୍ରମେ ପୂରାପୂରି ଗଢ଼ି ଉଠିବ ।

ଗାଣିତିକ ଚିନ୍ତା ଓ ପ୍ରଣାଳୀଗୁଡ଼ିକ ସହ ପରିଚିତ ହୋଇ ନଥିବାରୁ ଫାରାଡେ ସର୍ବଦା ତାଙ୍କର ଆବିଷ୍କାରଗୁଡ଼ିକୁ ଓ ଗବେଷଣାର ଫଳର ପ୍ରସାର ପାଇଁ କେବଳ ଭୌତିକ ଯୁକ୍ତି ପ୍ରୟୋଗ କରୁଥିଲେ । ଜଣେ ଗାଣିତିକଙ୍କ ପାଇଁ ଦୁଇଟି ମେରୁ ମଧ୍ୟରେ ଆକର୍ଷଣ ନିୟମ ହେଲା :

$$F = \frac{P}{x} \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

ଏହା ସେହି ଘଟଣାଟିକୁ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣଭାବେ ବୁଝାଇ ଦେଉଛି । ଫାରାଡେଙ୍କ ପାଇଁ ଏହା କେବଳ ଚୁମ୍ବକୀୟ ବଳର ପରିମାଣ ବୁଝାଉଛି, ଘଟଣାଟି ଅବୁଝା ରହିଯାଉଛି । ସେ

କହିଲେ ଯେ ଦୁଇ ଚୁମ୍ବକୀୟ ମେରୁ ବା ବିଦ୍ୟୁତ୍ୱାହୀ ପରସ୍ପର ଉପରେ କାମ କରିବେ ଯଦି ସେ ଦୁଇଟି ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ମାଧ୍ୟମ ଏହି ଘଟଣାରେ କୌଣସି ପ୍ରଧାନ ଅଂଶ ଗ୍ରହଣ କରିବ । ମାଧ୍ୟମ ଉପରେ ଏହିପରି ଅଧିକ ପ୍ରାଧାନ୍ୟ ଦେବାଫଳରେ ସେ କ୍ରମେ ବଳରେଖାର ଧାରଣା ପାଇଲେ ଏବଂ ଏହି ରେଖାର "ଛେଦନ" ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରେରଣରେ ପ୍ରଧାନତଃ ଆବଶ୍ୟକ ହେଲା । ପ୍ରଥମେ ଗୁଣାତ୍ମକ ଭାବରେ ଓ ପରେ ପ୍ରଧାନତଃ ପରିମାଣାତ୍ମକ ଭାବରେ ଫାରାଡ଼େ ଏହାକୁ ଗଢ଼ିଲେ । ଅବଶ୍ୟ ୧୮୪୫, ମସିହାରେ ଏଫ୍. ନିଉମ୍ୟାନ ଏହାକୁ ଗାଣିତିକ ଭାଷାରେ ପ୍ରକାଶ କଲେ । ଫାରାଡେଙ୍କର ବିଦ୍ୟୁତ୍‌ଚୁମ୍ବକ ପ୍ରେରଣ ନିୟମ ବିଷୟରେ କହିବାକୁ ଯାଇ ମ୍ୟାକ୍ସୱେଲ ଲେଖିଲେ;

ପ୍ରାୟ ଅର୍ଦ୍ଧଶତାବ୍ଦୀ ପରେ ଆମେ କହିପାରିବା ଯେ ଫାରାଡେଙ୍କ ଆବିଷ୍କାରର ପ୍ରୟୋଗ ବହୁ ପରିମାଣରେ ବଢ଼ି ଯାଇଛି ଏବଂ ପ୍ରତିବର୍ଷ ପରିମାଣ ଓ ମୂଲ୍ୟରେ ବଢ଼ୁଛି, ତାଙ୍କର ନିୟମରୁ ବ୍ୟତିକ୍ରମ କେବେ ଦେଖାଯାଇନାହିଁ, କୌଣସି ନୂଆ ନିୟମ ସେଥିସହିତ ଯୋଗ କରାଯାଇନାହିଁ ଏବଂ ଫାରାଡେଙ୍କର ମୂଳ ତତ୍ତ୍ୱ ଆଜିଯାଏ କେବଳ ପରୀକ୍ଷା ଦ୍ୱାରା ସ୍ଥିରୀକୃତ ତତ୍ତ୍ୱ ଛଡ଼ା ଆଉ କିଛି ନୁହେଁ, ଏହା ଏକମାତ୍ର ତତ୍ତ୍ୱ ଯାହା ସାହାଯ୍ୟରେ ଠିକ୍ ଭାବରେ ଓ ପରିମାଣାତ୍ମକ ଭାବରେ ନିର୍ଭୁଲ ଭାବରେ ତଥ୍ୟଟି ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରୁଛି; ଏଥିା ସତ୍ତ୍ୱେ ଏହା ଅତି ସରଳ ପ୍ରଣାଳୀରେ ପ୍ରକାଶିତ ତଥ୍ୟ ମାତ୍ର ।

(ଘ) ବିଦ୍ୟୁତ ବିଶ୍ଳେଷଣ ନିୟମ :

ଏହାପରେ ଫାରାଡେ ପ୍ରମାଣ କରିବାକୁ ଇଚ୍ଛା କଲେ ଯେ "ବିଦ୍ୟୁତ ଯେଉଁ ପ୍ରଣାଳୀରେ ଉତ୍ପାଦିତ ହେଉନା କାହିଁକି, ଏହାର ଧର୍ମ ସମାନ ।" ଉଦାହରଣସ୍ୱରୂପ, ସେ ଦେଖିଲେ ଯେ ଗୋଟିଏ ଘର୍ଷଣ କଳରୁ ଉତ୍ପନ୍ନ ବିଦ୍ୟୁତ ମଧ୍ୟ ଗାଲଭାନୋମିଟରକୁ ଘୁରାଇଦେବ ଏବଂ ରାସାୟନିକ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ଉତ୍ପନ୍ନ ବିଦ୍ୟୁତ ଯେପରି ରାସାୟନିକ ବିଶ୍ଳେଷଣ ଘଟାଇ ପାରୁଛି; ସେପରି ବିଶ୍ଳେଷଣ ମଧ୍ୟ ଘଟାଇପାରିବ । ଏହା ତାଙ୍କୁ ବିଦ୍ୟୁତ ବିଶ୍ଳେଷଣ କ୍ଷେତ୍ରକୁ ନେଇଗଲା । ସେ ଦେଖିଲେ ଯେ କେତେକ ବସ୍ତୁ (ଯଥା—କେତେକ କ୍ଲୋରାଇଡ଼ ଓ ସଲଫେଟ) କଠିନ ଅବସ୍ଥାରେ ଅପରିବାହୀ ଓ ତରଳିଗଲେ ସୁପରିବାହୀ ହୁଅନ୍ତି ଏବଂ ତରଳ ଅବସ୍ଥାରେ ସେଥି ମଧ୍ୟରେ ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରବାହିତ ହେଲେ ବିଶ୍ଳେଷିତ ହୋଇଥାନ୍ତି । ଏଥିରୁ ଜଣାଗଲା ଯେ ବିଦ୍ୟୁତ ବିଶ୍ଳେଷଣ ପାଇଁ ଜଳ ନିତାନ୍ତ ଆବଶ୍ୟକ ନୁହେଁ । ସେ

ତାଙ୍କର ପରୀକ୍ଷା ବର୍ଣ୍ଣନା କରିବାପାଇଁ କେତେକ ଶବ୍ଦ ପ୍ରୟୋଗ କଲେ, ଯଥା :—ଏନୋଡ୍, କାଥୋଡ୍, ଆୟନ୍, ଏନୟନ୍, କେଟିୟନ, ବିଦ୍ୟୁତ ବିଶେଷ୍ୟ, ବିଦ୍ୟୁତ ରସାୟନ ତୁଲ୍ୟାଙ୍କ ପ୍ରଭୃତି । ଏହି ଘଟଣାର ପରିମାଣାତ୍ମକ ଆଲୋଚନା ଫଳରେ ସେ ତାଙ୍କର ବିଦ୍ୟୁତ ବିଶ୍ଳେଷଣ ନିୟମ ଅବିଷ୍କାର କଲେ । ଏହି ନିୟମ ତାଙ୍କ ନାମାନୁସାରେ ନାମିତ ହୋଇଅଛି ଏବଂ ଏହା ସେ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଆଧୁନିକ ସମସ୍ତ କାର୍ଯ୍ୟର ମୂଳକଥା ।

ଫାରେଡେ ଜାଣିଲେ ଯେ ବିଦ୍ୟୁତ ବିଶ୍ଳେଷଣରେ ପ୍ରତି ପରମାଣୁ ବା ଆୟନରେ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରିମାଣର ବିଦ୍ୟୁତ ରହିଅଛି । ଯେକୌଣସି ବସ୍ତୁରେ ଏକକ ବସ୍ତୁତ୍ୱରେ କେତୋଟି ପରମାଣୁ ଅଛି, ସେ ଯଦି ଜାଣି ପାରିଥାନ୍ତେ, ତେବେ ୬୦ବର୍ଷ ବେଳକୁ ମୌଳିକ ବିଦ୍ୟୁତ ପରିମାଣ eର ମୂଲ୍ୟ ନିରୂପଣ କରି ପାରିଥାନ୍ତେ, କାରଣ ସେ କହିଛନ୍ତି :

ବସ୍ତୁମାନଙ୍କର ତୁଲ୍ୟାଙ୍କ ଓଜନ ସେହି ବସ୍ତୁମାନଙ୍କରେ ସମପରିମାଣର ବିଦ୍ୟୁତ ଧାରଣ କରିଥିବା ବସ୍ତୁ ପରିମାଣ ମାତ୍ର···କାରଣ ବିଦ୍ୟୁତ ହିଁ ସଂଯୋଜକ ବଳ ନିରୂପଣ କରିଥାଏ । ଅଥବା ଯଦି ଆମେ ପରମାଣୁ ମତବାଦ ବା ଭାଷାଗ୍ରହଣ କରିବା, ତେବେ ଯେଉଁ ବସ୍ତୁଗୁଡ଼ିକ ସାଧାରଣ ରାସାୟନିକ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ପରସ୍ପରର ତୁଲ୍ୟ, ପ୍ରକୃତରେ ସେମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସମପରିମାଣର ବିଦ୍ୟୁତ ରହିଅଛି ।

(ଙ) ଶକ୍ତି ସଂରକ୍ଷଣ :

ଭୋଲଟାଇକ ସେଲରେ ରାସାୟନିକ ପ୍ରକ୍ରିୟାଦ୍ୱାରା ବିଦ୍ୟୁତ ଉତ୍ପନ୍ନ ହେଉଛି ଏବଂ କେବଳ ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁ ସହିତ ସଂଯୁକ୍ତ ହେବାଦ୍ୱାରା, ତାହା ଉତ୍ପନ୍ନ ହେଉନାହିଁ—ଏହା ପ୍ରମାଣ କରିବାକୁ ଯାଇ ଫାରେଡେ ହେଲ୍ମହୋଲ୍ଟଜଙ୍କର ଶକ୍ତିସଂରକ୍ଷଣ ଉକ୍ତିର କେତେକ ବର୍ଷ ଆଗରୁ ସେ ନିୟମ ପ୍ରକାଶ କରିଥିଲେ । ୧୮୪୦ ମସିହାରେ ସେ ଲେଖିଲେ ।

ସ୍ପର୍ଶ ମତବାଦ ଅନୁମାନ କରୁଛି ଯେ ଯେଉଁ ବଳ ଏକ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ବାଧା ଅତିକ୍ରମ କରିପାରିବ···ତାହା ଶୂନ୍ୟରୁ ସୃଷ୍ଟି ହେଉଅଛି । ଏହା ଗୋଟିଏ ବଳ ହେବା ଦରକାର ଏବଂ ଏହା ସଦୃଶ ପ୍ରକୃତିରେ ଆଉ ଅନ୍ୟ ବଳ ନଥିବ । ଆମର ଅନେକ ପ୍ରଣାଳୀ ଅଛି ଯାହାଦ୍ୱାରା କି ଶକ୍ତି ଗୋଟିଏ ରୂପରେ ଥିବା ଶକ୍ତି ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ରୂପକୁ ପରିବର୍ତ୍ତିତ

ହେବା ପରି ମନେ ହେବ; କିନ୍ତୁ କୌଣସି ଘଟଣାରେ ଶକ୍ତି ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଭାବରେ ସୃଷ୍ଟି ବା ଉତ୍ପନ୍ନ ହୁଏନାହିଁ; ଏହା ଯୋଗାଇବାପାଇଁ ଅନ୍ୟ କାହାରି କ୍ଷୟ ଘଟିଥାଏ ।

(ଚ) ଫାରାଡେ ପ୍ରଭାବ :

ଦୂରରେ କାର୍ଯ୍ୟ ନୀତି ପ୍ରତି ଫାରାଡ଼େଙ୍କର ବିତୃଷ୍ଣାକଥା ଆଗରୁ କୁହାଯାଇଅଛି । ସେ ବିଶ୍ୱାସ କରୁଥିଲେ ଯେ ଯଦି ଦୁଇଟି ବିଦ୍ୟୁତ ଚାର୍ଜ ପରସ୍ପରକୁ ଆକର୍ଷଣ କରନ୍ତି, ତେବେ ସେ ଦୁହିଁଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ମାଧ୍ୟମ କୌଣସି ପ୍ରଧାନ କାମ କରୁଥିବ । ତେଣୁ ଯଦି ଚାର୍ଜ ଦୁଇଟି ନଥାନ୍ତା, ତେବେ ମାଧ୍ୟମଟି ଯେପରି ଅବସ୍ଥାରେ ଥାଆନ୍ତା, ଚାର୍ଜ ଥିବାବେଳେ ସେପରି ଅବସ୍ଥାରେ କେବେହେଲେ ନଥିବ ଏବଂ ଯଦି ଏପରି ହୋଇଥାଏ, ତେବେ ଏହି ପରିବର୍ତ୍ତିତ ଅବସ୍ଥା ମାଧ୍ୟମର କୌଣସି ଭୌତିକ ଗୁଣରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ଲକ୍ଷ୍ୟ କରି ଜାଣି ହେବ । ଅତି ପୂର୍ବରୁ, ୧୮୨୨ ବେଳକୁ ଫାରାଡେ ଗୋଟିଏ ସ୍ୱଚ୍ଛ ଦ୍ରବଣ ମଧ୍ୟରେ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ସ୍ରୋତ ଚଳାଇ ସେଥିରେ ପାର୍ଶ୍ୱୀକୃତ ଆଲୋକ ପକାଇବା ଦ୍ୱାରା ସ୍ରୋତର ପାର୍ଶ୍ୱୀକୃତ ଗୁଣ ଦୂର କରିବାର ଶକ୍ତି ଅଛି କି ନା ପରୀକ୍ଷା କରିଥିଲେ । ଯଦିଓ ସେ ପରବର୍ତ୍ତୀମାନଙ୍କରେ ବାରମ୍ବାର ଏହି ପରୀକ୍ଷା କରିଥିଲେ, ସମସ୍ତ ପରୀକ୍ଷାର ଫଳ ନାସ୍ତିସୂଚକ ହୋଇଥିଲା । ୧୮୪୫ ମସିହାରେ ସେ ପୁଣି ଥରେ ଏହି ସମସ୍ୟା ବିଚାର କଲେ, ଏବେ ମଧ୍ୟ ନାସ୍ତିସୂଚକ ଫଳ ମିଳିଲା । ତାପରେ ସେ ଧାତବପାତ ମଧ୍ୟରେ କଠିନ ବିଦ୍ୟୁତପାରକ ବ୍ୟବହାର କରି, ଏହି ପାତକୁ ଗୋଟିଏ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ବିଦ୍ୟୁତ ବଳ ସହ ଯୋଡ଼ିଦେଲେ । ଏପରି କଲେ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ବିକୃତି ଫଳରେ ଆଲୋକରେ କୌଣସି ପ୍ରଭାବ ପଡ଼ିବ କି ନାହିଁ ସେ ଦେଖିବାକୁ ଇଚ୍ଛା କଲେ । କୌଣସି ଫଳ ହେଲା ନାହିଁ । ୧୮୭୫ ମସିହାରେ ଏହି ପ୍ରଭାବକର ଦେଖି ପାରିଥିଲେ ।

ଏହା ପରେ ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ର ବଦଳରେ ଫାରାଡେ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ବ୍ୟବହାର କରି, ଏହା ଫଳରେ ପାର୍ଶ୍ୱୀକୃତ ଗୁଣରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହେବ କି ନା ଦେଖିବାକୁ ଚେଷ୍ଟା କଲେ । ନାନାପ୍ରକାର ଜିନିଷ ନେଲେ, ତଥାପି ସେହି ନାସ୍ତିସୂଚକ ଫଳ ହେଲା । ଶେଷରେ ସେ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ମଧ୍ୟରେ ଖଣ୍ଡେ ସୀସା କାଚ ରଖିଦେଲେ । ଯେତେବେଳେ ଚୁମ୍ବକ ରେଖାସବୁ ପାର୍ଶ୍ୱୀକୃତ ଆଲୋକ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ପ୍ରତି ସମାନ୍ତରଭାବେ ରହିଲା, ସେତେବେଳେ ସେ ଦେଖିଲେ ଯେ ପାର୍ଶ୍ୱୀକୃତ ଆଲୋକର ସମତଳ ଘୂରିଯାଉଛି ।

ଶେଷରେ ସେ ଆଲୋକ ଓ ଚୁମ୍ବକ ମଧ୍ୟରେ ଏକ ସମ୍ବନ୍ଧ ଆବିଷ୍କାର କରିପାରିଥିଲେ । ଏହି ଚୌମ୍ବିକ ଘୂର୍ଣ୍ଣନକୁ ବର୍ତ୍ତମାନ ଫାରାଡେ ପ୍ରଭାବ କୁହାଯାଉଅଛି । ପୁଣି ଅରେ ଦୀର୍ଘ ୨୦ବର୍ଷ କାଳ ବାରମ୍ବାର ପରାଭୂତ ହୋଇ ମଧ୍ୟ ଅବିରତ ଚେଷ୍ଟା ଫଳରେ ଏହି ପ୍ରଭାବ ଆବିଷ୍କାର କରିପାରିଥିଲେ—ଏପ୍ରକାର ଏକ ପ୍ରଭାବର ଅବସ୍ଥିତି ସମ୍ବନ୍ଧରେ ତାଙ୍କର ଅଲୌକିକ ବିଶ୍ୱାସ ଥିଲା ।

(ଛ) ବିବିଧ :

ଫାରାଡେଙ୍କର ଅନ୍ୟ ଗବେଷଣା ମଧ୍ୟରେ ରସାୟନ ଶାସ୍ତ୍ରରେ ଅସଂଖ୍ୟ ଅନୁସନ୍ଧାନ ମଧ୍ୟରୁ ଆଗରୁ ଚିର ଗ୍ୟାସ ବୋଲି ବିଶ୍ୱାସ କରାଯାଉଥିବା କେତେକ ଗ୍ୟାସକୁ ତରଳ ପଦାର୍ଥରେ ପରିଣତ କରିବା, କଠିନ ପଦାର୍ଥରେ ଗ୍ୟାସର ବିସରଣ, ଆତ୍ମ-ବିସରଣ, ବିଦ୍ୟୁତ ପାରକର କେତେକ ମୌଳିକ ଗୁଣ, ପ୍ରତିଚୁମ୍ବକ, ସ୍ୱଳ୍ପ ଚାପରେ ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରେରଣ ଘଟଣାରେ ଓ ଓନୋଡ଼ ଓ କାଥୋଡ଼ ମଧ୍ୟରେ ପାର୍ଥକ୍ୟ, ପ୍ଲେଟର କମ୍ପନ, ବରଫର ପୁନର୍ହିମାୟନ, ଇସ୍ପାତର ସଙ୍କର ଧାତୁ ଏବଂ ଆଲୋକୀୟ କାଚ ପ୍ରଭୃତିର ନାମ ଉଲ୍ଲେଖ କରାଯାଇପାରେ ।

ଏହି ସରଳ, ଭଦ୍ର, ସ୍ୱୟଂଶିକ୍ଷିତ ଦାର୍ଶନିକ ମାନବ ସମାଜର ହିତସାଧକମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଏକ ସୁସ୍ପଷ୍ଟ ସ୍ଥାନର ଅଧିକାରୀ ହୁଅନ୍ତି ।

1.27 ଜୋସେଫ ହେନେରୀ (୧୭୯୯—୧୮୭୮) :

ଫାରାଡ଼େଙ୍କ କାର୍ଯ୍ୟର ଯେତେ ସଂକ୍ଷିପ୍ତ ବିବରଣୀ ଦେଲେ ମଧ୍ୟ ଏଥିସଙ୍ଗେ ଆମେରିକାର ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନୀ ଜୋସେଫ ହେନେରୀଙ୍କର ଗବେଷଣା ସମ୍ବନ୍ଧରେ କେତେପଦ ଲେଖିବା ଦରକାର । ଏହାଙ୍କର ସ୍ମୃତି, ପ୍ରେରକତ୍ୱର ଏକକର ନାମଦ୍ୱାରା ସମ୍ମାନିତ ହେଉଛି । ସ୍ଥିର ବିଦ୍ୟୁତରେ ଫାରାଡ଼ ଯେଉଁ ପରିମାଣ ବୁଝାଉଛି, ବିଦ୍ୟୁତଗତିକରେ ହେନେରୀ ସେହି ପରିମାଣ ବୁଝାଉଛି । ଯଦି ହେନେରୀ ଅବିରତ ଭାବରେ ପରୀକ୍ଷା କରିପାରିଥାନ୍ତେ ଏବଂ ଅଧିକ ସୁବିଧା ପାଇଥାନ୍ତେ, ସେ ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକ ପ୍ରେରଣରେ ଫାରାଡ଼େଙ୍କ ପରି ଜଣସୁ ଆବିଷ୍କାର କରିପାରିଥାନ୍ତେ । ସ୍ୱୟଂପ୍ରେରଣ ଘଟଣା ମଧ୍ୟ ସେ ଆବିଷ୍କାର କରିପାରିଥାନ୍ତେ । କେବଳ ଗୋଟିଏ ଗ୍ରୀଷ୍ମାବକାଶରେ ଏକମାତ୍ର ମାତ୍ର ଆଲ୍‌ବାନି ଏକାଡେମିରେ

ଗଣିତ ଅଧ୍ୟାପନା କରିବାବେଳେ ଏବଂ ନିଜ ହାତରେ ତିଆରି କରିଥିବା ସାମାନ୍ୟ ଯନ୍ତ୍ରପାତିରେ ସେ ଏତିକି କାମ କରି ପାରିଥିଲେ । ଏହାଛଡ଼ା, ସମସ୍ତ କାର୍ଯ୍ୟରେ ୟୁରୋପର ବୈଜ୍ଞାନିକ ବାତାବରଣ ଦୂରରେ ଏକୁଟିଆ ହୋଇ ରହିବାରୁ ତାଙ୍କର କାର୍ଯ୍ୟ ଅତ୍ୟନ୍ତ ବାଧାପ୍ରାପ୍ତ ହୋଇଥିଲା ।

ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକର ଡିଜାଇନ ଓ ବ୍ୟବହାରରେ ହେନେରି ଅନେକତା ଆଣିଥିଲେ । ଗୋଟିଏ ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକ ଦ୍ୱାରା କାର୍ଯ୍ୟ କରୁଥିବା ବିଦ୍ୟୁତ ମୋଟର ସେ ପ୍ରଥମେ ତିଆରି କରିଥିଲେ । ଏଥିରେ ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକଟି ଦୁଇଟି ଚିରଚୁମ୍ବକ ମଧ୍ୟରେ ଆଗକୁ ପଛକୁ ଗତି କରୁଥିଲା । ସେ ଦେଖିଲେ ଯେ ଅଧିକ ଆଖିଳକ ପ୍ରଭାବ ପାଇବାପାଇଁ ବ୍ୟାଟେରୀରେ ସେଲଗୁଡ଼ିକ ଏବଂ ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକର ଲଟେଇ, ଚୁମ୍ବକ ବ୍ୟାଟେରୀଠାରୁ ଅଧିକ ଦୂରରେ ଥିଲେ ମାଳାଭାବେ ଏବଂ ଚୁମ୍ବକ ବ୍ୟାଟେରୀର ନିକଟରେ ଥିଲେ ସମାନ୍ତରଭାବେ ଯୋଡ଼ା ହେବା ଦରକାର । ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ତାଙ୍କର କାର୍ଯ୍ୟ ପ୍ରତ୍ୟକ୍ଷ ଭାବେ ଟେଲେଗ୍ରାଫର ସାଧାରଣ ବ୍ୟବହାର ସମ୍ଭବ କରିଥିଲା ।

1.28 ଜେମସ୍ କ୍ଲର୍କ ମ୍ୟାକ୍ସ୍‌ୱେଲ (୧୮୩୧—୧୮୭୯) :

ମ୍ୟାକ୍ସ୍‌ୱେଲ ଓ ଫାରାଡ଼େଙ୍କ ଜୀବନର ଆରମ୍ଭରେ ଯେପରି ପ୍ରଭେଦ ଦେଖାଯାଏ, ଆଉ ଯେକୌଣସି ଦୁଇଜଣ ବୈଜ୍ଞାନିକଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସେପରି ପ୍ରଭେଦ ଦେଖିବା ବଡ଼ କଷ୍ଟକର । ଫାରାଡ଼େ ଅତି ସାଧାରଣ ପରିବାରରେ ଜନ୍ମ; ମ୍ୟାକ୍ସ୍‌ୱେଲ ଗୋଟିଏ ଅତି ପୁରାତନ ଖ୍ୟାତନାମା ବଂଶରେ ସମ୍ଭୂତ ଫାରାଡ଼େଙ୍କର ବାଲ୍ୟଜୀବନ ଅତି ଗରିବ ଅବସ୍ଥାରେ କଟିଥିଲା, ମ୍ୟାକ୍ସ୍‌ୱେଲଙ୍କ ପରିବାର ଧନ ଧାନ୍ୟରେ ପୂର୍ଣ୍ଣ ଥିଲା । ଫାରାଡ଼େ ଅତି ସାମାନ୍ୟ ମାତ୍ର ଶିକ୍ଷା କରିଥିଲେ, ମ୍ୟାକ୍ସ୍‌ୱେଲଙ୍କୁ ସ୍କୁଲ ଓ ବିଶ୍ୱବିଦ୍ୟାଳୟର ସମସ୍ତ ସୁଯୋଗ ମିଳିଥିଲା । ବୈଜ୍ଞାନିକ କାର୍ଯ୍ୟ ପ୍ରତି ସେମାନଙ୍କର ଥିବା ମନୋଭାବରେ ମଧ୍ୟ ସେମାନେ ଭିନ୍ନ ଥିଲେ । ଫାରାଡ଼େ ପରୀକ୍ଷାମୂଳକ ବିଜ୍ଞାନର ଜଣେ ପ୍ରଧାନ ପରିପୋଷକ ଥିଲେ, କିନ୍ତୁ ମ୍ୟାକ୍ସ୍‌ୱେଲ ଜଣେ ଭଲ ପରୀକ୍ଷକ ହେଲେ ମଧ୍ୟ ତାତ୍ତ୍ୱିକ ବୈଜ୍ଞାନିକମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଜଣେ ପୁରୋଧା । ହେଲେ ମଧ୍ୟ ଦୁହେଁ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକର ପୁରାତନ ମତବାଦ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ପରସ୍ପରର ପରିପୂରକ ଅପରିହାର୍ଯ୍ୟ ଅବଦାନ ଦେଇ ଯାଇଛନ୍ତି ।

ଜୀବନର ଅତି ପ୍ରଥମ ଅବସ୍ଥାରୁ ମ୍ୟାକ୍ସୱେଲ ପରୀକ୍ଷାମୂଳକ ଓ ତାତ୍ତ୍ୱିକ, ଉଭୟ ପ୍ରକାର ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନରେ ଅତିଶୟ ଆଗ୍ରହ ପ୍ରକାଶ କରିଥିଲେ । କେତେପ୍ରକାରର ଡିମ୍ବାକାର ରେଖା ଟାଣିବାର ଉପାୟ ଉଦ୍ଭାବନ କରିଥିଲେ ଏବଂ କେତେବର୍ଷ ପରେ ସେ "ଭ୍ରାମ୍ୟମାଣ ରେଖା ତତ୍ତ୍ୱ" ପ୍ରକାଶ କରିଥିଲେ । ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ କଠିନ ବସ୍ତୁର ସ୍ଥିରାବସ୍ଥା" ସମ୍ବନ୍ଧରେ ସେ ଗୋଟିଏ ପ୍ରବନ୍ଧ ଦେଇଥିଲେ । ଏସବୁ ତାଙ୍କୁ ଉଣେଇଶି ବର୍ଷ ନହେବା ଆଗରୁ ସେ କରିପାରିଥିଲେ । ଏହି ସମୟ ମଧ୍ୟରେ ସେ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ପରୀକ୍ଷା ମଧ୍ୟ କରିଥିଲେ । ବିଶେଷ କରି ଅବକାଶଗୁଡ଼ିକ କଟାଇବାବେଳେ ଗ୍ଲେନ୍‌ଲେୟାରଠାରେ ଥିବା ତାଙ୍କର ଜମିଦାରୀରେ ଗୋଟିଏ ଛୋଟ ଲାବରେଟରୀରେ ଏହି କାମଗୁଡ଼ିକ କରାଯାଇଥିଲା ।

ତିନିବର୍ଷ ପରେ ଏଡିନ୍‌ବର୍ଗ ବିଶ୍ୱବିଦ୍ୟାଳୟରେ କେମ୍ବ୍ରିଜର ଟ୍ରିନିଟି କଲେଜରେ ସେ ପ୍ରବେଶ କଲେ । ଏଠାରୁ ଅନର୍ସରେ ବହୁ ଉଚ୍ଚସ୍ଥାନ ପାଇ ସେ ୧୮୫୪ ମସିହାରେ ସେ ସ୍ନାତକ ହେଲେ । ସେ ୪ବର୍ଷ ଆବର୍‌ଡିନ୍‌ରେ କଟାଇଲେ ଏବଂ ଲଣ୍ଡନର କିଙ୍ଗ୍‌ କଲେଜରେ ୫ବର୍ଷ ପ୍ରଫେସର ହେଲେ (୧୮୬୦—୧୮୬୫) । ଏଠାରୁ ତାଙ୍କର କେତେକ ପ୍ରଧାନ ପ୍ରବନ୍ଧ ପ୍ରକାଶ ପାଇଥିଲା, ଯଥା—"ଭୌତିକ ବଳ ରେଖା" (୧୮୬୨) ଏବଂ ତାଙ୍କର ସର୍ବଶ୍ରେଷ୍ଠ ପ୍ରବନ୍ଧ "ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ଏକ ଗତିଶୀଳ ତତ୍ତ୍ୱ" । କେତେକ ବର୍ଷ ଅବସର ନେବାପରେ କେମ୍ବ୍ରିଜରେ ନୂଆ ହୋଇ ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଥିବା ପରୀକ୍ଷାମୂଳକ ଭୌତିକ ବିଜ୍ଞାନ ପ୍ରଫେସର ପଦ ପାଇଁ ୧୮୭୦ ମସିହାରେ ନିର୍ବାଚିତ ହୋଇଥିଲେ । ତାଙ୍କର କ୍ଷମତାର ପରିସର ମଧ୍ୟରେ ଥିବାରୁ ସେ ବର୍ତ୍ତମାନର ବିଖ୍ୟାତ କାଭେଣ୍ଡିସ୍‌ ଲାବରେଟରୀର ପ୍ଲାନ୍‌ ଓ ଯନ୍ତ୍ରପାତି ସାଜସଜ୍ଜା ତଦାରଖ କରିଥିଲେ । ୧୮୭୯ ମସିହାରେ ତାଙ୍କର ଅକାଳ ବିୟୋଗ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ସେ ଏହି ଲାବରେଟରୀର ଡାଇରେକ୍ଟର ଥିଲେ ।

ମ୍ୟାକ୍ସୱେଲଙ୍କର ପ୍ରବନ୍ଧମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ଅଧିକାଂଶ, ୧୦୦ରୁ ଅଧିକ ହେବ, ତିନୋଟି ଶିରୋନାମାରେ ବିଭକ୍ତ କରାଯାଇ ପାରିବ—ବର୍ଣ୍ଣ ଦୃଷ୍ଟି, ଆଣବିକ ତତ୍ତ୍ୱ ଏବଂ ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକ ତତ୍ତ୍ୱ ।

ବର୍ଣ୍ଣ ଦୃଷ୍ଟିସମ୍ବନ୍ଧୀୟ କାର୍ଯ୍ୟ ଥୋମାସ ୟଙ୍ଗଙ୍କ ପ୍ରସ୍ତାବିତ ବର୍ଣ୍ଣଦୃଷ୍ଟି ତତ୍ତ୍ୱ-ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ଭୌତିକ ଘଟଣାବଳୀରେ ପାରିମାଣିକ ଆଲୋଚନା ଲାଗି ହାତକୁ ନିଆଯାଇଥିଲା । ଏହି ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ଆଖିରେ ଯେକୌଣସି ଆଲୋକ ଚେତନା ସେଥିରେ ତିନୋଟି

ମୌଳିକ ରଙ୍ଗ—ଲାଲ, ନୀଳ ଓ ବାଇଗଣୀ ଲାଗି ସମ୍ଭବ ହୋଇଥାଏ । ଏଥିପାଇଁ ମ୍ୟାକ୍ସୱେଲ ଗୋଟିଏ "ବର୍ଣ୍ଣବାକ୍ସ" ଉଦ୍ଭାବନ କରିଥିଲେ । ଏହା ସାହାଯ୍ୟରେ ସେ ବର୍ଣ୍ଣାଳୀର ରଙ୍ଗସବୁ ମିଶାଇ ପାରୁଥିଲେ ।

ଆଣବିକ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନରେ ମ୍ୟାକ୍ସୱେଲଙ୍କର କାର୍ଯ୍ୟ ବହୁତ ବେଶୀ । ସେ ଆବଶ୍ୟକ କେତେକ ପରିମାଣରେ ପରୀକ୍ଷାଦ୍ୱାରା ଅଣୁମାନଙ୍କର ଗତିବେଗ ଅନୁସାରେ ବଣ୍ଟନ ପ୍ରତିପାଦନ କରିଥିଲେ (ମ୍ୟାକ୍ସୱେଲଙ୍କର ନିୟମ)। ସେ ଦେଖାଇଥିଲେ ଯେ ଯେତେବେଳେ ଦୁଇଟି ଗ୍ୟାସ ଏକ ଉତ୍ତାପରେ ରହନ୍ତି, ସେମାନଙ୍କର ବିଭିନ୍ନ ଅଣୁମାନଙ୍କର ସରଳ ଗତି ଶକ୍ତିର ଗଡ଼ ଉଭୟ କ୍ଷେତ୍ରରେ ସମାନ । ଭିସ୍କୋସିଟିର ଗତିତତ୍ତ୍ୱରୁ ସେ ଏକ ଆଶ୍ଚର୍ଯ୍ୟଜନକ ସିଦ୍ଧାନ୍ତରେ ଉପନୀତ ହେଲେ ଯେ ଗଡ଼ ମୁକ୍ତପଥ ଅଧିକ ନହେବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଗୋଟିଏ ଗ୍ୟାସର ଭିସ୍କୋସିଟି ତାର ସାନ୍ଦ୍ରତା ପ୍ରତି ନିର୍ଭରଶୀଳ ନୁହେଁ ଏବଂ ସେ ଏହି ସିଦ୍ଧାନ୍ତ ପରୀକ୍ଷା ଦ୍ୱାରା ପ୍ରତିପାଦନ କରିଥିଲେ । ଏବିଷୟରେ 'ଏଥିପୂର୍ବରୁ ଗଣିତର ଯେତେ ପ୍ରୟୋଗ ହୋଇଥିଲା, ତା ତୁଳନାରେ ସେ ବହୁ ଅଧିକ ପରିମାଣରେ ଗଣିତ ପ୍ରୟୋଗ କରିଥିଲେ । ପ୍ରକୃତରେ ସେ କ୍ଲସିୟସ (୧୮୨୨—୧୮୮୮)ଙ୍କ ସହିତ ମିଶି 'ବସ୍ତୁର ଗତିତତ୍ତ୍ୱ' ପ୍ରତିଷ୍ଠା କରିଥିଲେ ।

ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ତତ୍ତ୍ୱରେ ମ୍ୟାକ୍ସୱେଲଙ୍କର ବିଶେଷ ଅବଦାନ ହେଲା 'ସ୍ଥାନାନ୍ତରଣ ସ୍ରୋତ' ଏବଂ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରର ସମୀକରଣ । ଏହି ସମୀକରଣଗୁଡ଼ିକରୁ ଆଲୋକର ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ମତବାଦ ଉଦ୍ଭାବିତ ହୋଇଥିଲା । ତାଙ୍କର ଗ୍ରନ୍ଥ "ବିଦ୍ୟୁତ ଓ ଚୁମ୍ବକ"ର ଭୂମିକାରେ ସେ ମତ ଦେଇଥିଲେ, "ବିଦ୍ୟୁତ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ମୋର ଆଲୋଚନା ଆରମ୍ଭ କରିବା ପୂର୍ବରୁ ମୁଁ ଶପଥ କଲି ଯେ ଫାରାଡେଙ୍କର 'ବିଦ୍ୟୁତ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ପରୀକ୍ଷାମୂଳକ ଗବେଷଣା' ଅଧ୍ୟୟନ କରିବା ପୂର୍ବରୁ ଏ ସମ୍ବନ୍ଧରେ କୌଣସି ଗଣିତ ପାଠ କରିବି ନାହିଁ । ସେ ଦୃଢ଼ମତ ହୋଇଥିଲେ ଯେ ବିଦ୍ୟୁତ ପାରକକୁ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଘଟଣାର ପ୍ରକୃତ ଆଧାର ବୋଲି ଫାରାଡେ଼ ଯାହା ଚିନ୍ତା କରିଥିଲେ, ତାହା ଠିକ୍ । ଫାରାଡେ଼ ଯେ ମନେ କରିଥିଲେ ଯେ ବିଦ୍ୟୁତ ପାରକରେ ପାର୍ଶ୍ୱୀକରଣ ହେବା ଫଳରେ ଅର୍ଥାତ୍ ପ୍ରତି ଅଣୁର ଯୁକ୍ତ ମୁଣ୍ଡଟି ବିଦ୍ୟୁତ କ୍ଷେତ୍ର ଦିଗରେ ଓ ବିଯୁକ୍ତଟି ବିପରୀତ ଦିଗରେ ରହିବା ଫଳରେ ଏହା କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହେଉଛି, ତା ମଧ୍ୟ ସତ୍ୟ (ଏଠାରେ ବିଦ୍ୟୁତ ପାରକ ଶବ୍ଦଟି ଯେପରି ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇଛି,

ସେଥିରେ ସୂକ୍ଷ୍ମ ମାଧ୍ୟମ ବା ସର୍ବବ୍ୟାପୀ, ଆମେ ଯାହାକୁ ଶୂନ୍ୟ କହୁଛୁ, ସେଥିରେ ନଥିବା ଈଥରକୁ ମଧ୍ୟ ବୁଝାଉଛି) । ସେ ସିଦ୍ଧାନ୍ତ କଲେ ଯେ ଯେତେବେଳେ ପାର୍ଶ୍ୱିକ ବିକିରଣ ବଦଳିବ, ଏହି ପରିବର୍ତ୍ତନ ବିଦ୍ୟୁତର ସ୍ଥାନାନ୍ତରଣ ଘଟାଇବ ଏବଂ ସେହି କାରଣରୁ ଏହି ପରିବର୍ତ୍ତନ ଘଟୁଥିବାବେଳେ ବିଦ୍ୟୁତ ତାରକାରେ ଚୁମ୍ବକଗୁଣ ବିଶିଷ୍ଟ ଏକ ସ୍ରୋତ ପ୍ରବାହିତ ହେବ, ଠିକ୍ ଯେପରି ଚୁମ୍ବକ ଗୁଣ ବିଶିଷ୍ଟ ସ୍ରୋତ ସୁପରିବାହୀରେ ପ୍ରବାହିତ ହୋଇଥାଏ ।

'ସ୍ଥାନାନ୍ତରଣ ସ୍ରୋତ'ର ଏହି ଅନୁମାନ ମ୍ୟାକ୍ସୱେଲଙ୍କର ବିଖ୍ୟାତ 'ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ସମୀକରଣ' ଗୁଡ଼ିକର ଉତ୍ପାଦନର ବାଟ ଖୋଲିଦେଲା । ବଡ଼ କୌତୂହଳର କଥା ଯେ ପ୍ରଥମେ ଗୋଟିଏ ଯାନ୍ତ୍ରିକ ପ୍ରଣାଳୀରୁ ସେ ଏହି ସମୀକରଣଗୁଡ଼ିକର ଧାରଣା ପାଇଥିଲେ—ବିଦ୍ୟୁତ ଓ ଚୁମ୍ବକ ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକ ଘଟାଇବାକୁ ସମର୍ଥ ଗୋଟିଏ ସର୍ବବ୍ୟାପୀ ଭୌତିକ ମାଧ୍ୟମର ଗୁଣ ଆଲୋଚନା କରିବାକୁ । ସେ ଦେଖାଇଲେ ଯେ (୧୮୬୨)ରେ ତାଙ୍କର ଏହି କାଳ୍ପନିକ ମାଧ୍ୟମ ଅନୁପ୍ରସ୍ଥ କମ୍ପନଗୁଡ଼ିକ ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକ ଓ ସ୍ଥିର ବିଦ୍ୟୁତରେ ବ୍ୟବହୃତ ଏକକ ଦୁଇଟିର ଅନୁପାତ ସହ ସମାନ ଗତିବେଗରେ ଗତି କରି ପାରିବ । ଯଦିଓ ସେ ତାଙ୍କର ମଡେଲକୁ ବେଶୀ ମୂଲ୍ୟବାନ ମନେ କରି ନଥିଲେ, ତଥାପି ସେ ମତ ଦେଇଥିଲେ ଯେ ଏହି ଏକକ ଦୁଇଟିର ଅନୁପାତ ଫିଜୋଙ୍କର ପରୀକ୍ଷାରୁ ମିଳିଥିବା ଆଲୋକର ଗତିବେଗ ସହିତ ଏପରି ସଠିକ ଭାବରେ ମିଳିଯାଉଛି ଯେ ଯେଉଁ ମାଧ୍ୟମରେ ବିଦ୍ୟୁତ ଓ ଚୁମ୍ବକ ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକ ଘଟୁଛି ଆଲୋକ ସେଥିରେ ଅନୁପ୍ରସ୍ଥ କମ୍ପନ ।

୧୮୬୪ ମସିହାରେ କୌଣସି ମଡେଲର ଆଶ୍ରୟ ନଦେଇ ଏହି ତତ୍ତ୍ୱ ପୁଣି ଥରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇଥିଲା । ସେଥିରେ ସେ କହିଲେ;

ମୁଁ ଯେଉଁ ତତ୍ତ୍ୱ ପ୍ରସ୍ତାବ ଦେଉଛି ତାକୁ ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକ ତତ୍ତ୍ୱ ବୋଲି କୁହାଯାଉ; କାରଣ ବିଦ୍ୟୁତ ଓ ଚୁମ୍ବକୀୟବସ୍ତୁମାନଙ୍କର ନିକଟସ୍ଥ ସ୍ଥାନ ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ । ଏହାକୁ ଏକ ଗତିଶୀଳ ତତ୍ତ୍ୱ ବୋଲି କୁହାଯାଉ, କାରଣ ସେହି ସ୍ଥାନରେ ବସ୍ତୁ ଗତିଶୀଳ ଅବସ୍ଥାରେ ଅଛି ଓ ଏହା ଫଳରେ ଦୃଶ୍ୟମାନ ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକ ସୃଷ୍ଟି ହେଉଛି । ୧୮୭୩ ମସିହାରେ ମ୍ୟାକ୍ସୱେଲ ତାଙ୍କର "ବିଦ୍ୟୁତ ଓ ଚୁମ୍ବକ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ଗ୍ରନ୍ଥ" ପ୍ରକାଶ କଲେ । ସମସ୍ତ ବିଜ୍ଞାନରେ ଏହା ଏକ ମୂଲ୍ୟବାନ ଗ୍ରନ୍ଥ ।

ମ୍ୟାକ୍ସୱେଲଙ୍କର ନୂତନ ମତବାଦ ମୂଳରେ ଥିବା ଭୌତିକ ଧାରଣା ତାଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ସ୍ପଷ୍ଟ ହୋଇନଥିଲା । ତାଙ୍କ ଗ୍ରନ୍ଥରେ ସମସ୍ତ ସ୍ଥାନ ଅନିର୍ମେୟ 'ବିଦ୍ୟୁତ' ଦ୍ୱାରା ପୂର୍ଣ୍ଣ ବୋଲି ସେ ଅନୁମାନ କରିଛନ୍ତି, ଗୋଟିଏ ସୁପରିବାହୀରେ ଏହି ବିଦ୍ୟୁତ ସହଜରେ ଗତି କରିପାରେ (କେବଳ ଓମୀୟ ପ୍ରତିବାଧାକୁ ଛାଡ଼ିଦେଲେ) ବୋଲି ଗୋଟିଏ ବିଦ୍ୟୁତ ସ୍ରୋତ ସୃଷ୍ଟି ହୁଏ; କିନ୍ତୁ ଗୋଟିଏ ବିଦ୍ୟୁତ ପାରକରେ "ଆମେ ଯାହାକୁ ବିଦ୍ୟୁତ ସ୍ଥିତି-ସ୍ଥାପକ ବୋଲି କହୁଛୁ, ତାହା ବିଦ୍ୟୁତର ସ୍ଥାନାନ୍ତରଣର ବିପରୀତ ଦିଗରେ କାମ କରେ ଏବଂ ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରେରକ ବଳ କାଢ଼ି ନିଅଗଲେ ବିଦ୍ୟୁତକୁ ପଛକୁ ଠେଲି ଦିଏ ।" ଏପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ସ୍ପଷ୍ଟ ବୁଝି ହେଉଛି । କିନ୍ତୁ ଶୂନ୍ୟ ସ୍ଥାନରେ ଏହି ବିଦ୍ୟୁତପ୍ରେରକ ବଳର ଉତ୍ସ କ'ଣ ? ଏବଂ ଏହି ବିଦ୍ୟୁତ କିପରି ଗଢ଼ା ? ମନେହୁଏ ମ୍ୟାକ୍ସୱେଲ ଅନୁମାନ କରିଥିଲେ ଯେ ଗୋଟିଏ ତାରଦ୍ୱାରା ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରବାହିତ ହୋଇ ଗୋଟିଏ ସୁପରିବାହୀକୁ ଆସିଲେ, କଣ ହୁଏ ନା, ବିଦ୍ୟୁତ ତାର ମଧ୍ୟ ଦେଇ ସୁପରିବାହୀକୁ ପ୍ରବାହିତ ହୋଇ ସେଥିରୁ କେତେକ ବିଦ୍ୟୁତ ପୃଷ୍ଠପଟେ ବାହାରକୁ ବିତାଡ଼ନ କରିଥାଏ । ତେଣୁ ଗୋଟିଏ ସୁପରିବାହୀ ଚାର୍ଜ ଗ୍ରହଣ କରିବା ଅବସ୍ଥାରେ ଏବଂ ସେଥିରେ ଚାର୍ଜ ନଥିବା ଆଲୋକର ସମପରିମାଣର ବିଦ୍ୟୁତ ଧାରଣ କରିଥାଏ । ବିଦ୍ୟୁତ ଧାରଣ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଏପରି ଏକ ପରିକଳ୍ପନା ୧୮୭୬ ମସିହାରେ ଅସମ୍ଭବ ବୋଲି ମନେ ହେଲା । ସେବର୍ଷ ଆମେରିକାବାସୀ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନବିତ୍ ରାଓଲାଣ୍ଡ ଦେଖାଇଥିଲେ ଯେ ଗତିଶୀଳ ଚାର୍ଜ ଥିବା ସୁପରିବାହୀର ପୃଷ୍ଠପଟେ ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ର ଥାଏ, ଗତିଶୀଳ ବିଦ୍ୟୁତ କାର୍ଯ୍ୟତଃ ଗୋଟିଏ ସ୍ରୋତ ସୃଷ୍ଟି କରେ ।

ଅନ୍ୟ ପକ୍ଷରେ ଗାଣିତିକ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନ୍ୟମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା କ୍ରମେ ଗଢ଼ି ଉଠିଲା; ବିଶେଷ କରି ଏଚ୍. ଏ. ଲରେଞ୍ଜଙ୍କ ଦ୍ୱାରା । ଏହା ବିଦ୍ୟୁତ ଓ ଚୁମ୍ବକ ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକ ଏବଂ ଆଲୋକର ପ୍ରଧାନ ଗୁଣଗୁଡ଼ିକ ବୁଝାଇ ପାରିଲା । ଜର୍ମାନୀରେ ହେଲ୍ମହୋଲ୍ଜଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଉତ୍ସାହିତ ହୋଇ ହର୍ଜ ମ୍ୟାକ୍ସୱେଲଙ୍କର ସ୍ଥାନାନ୍ତରଣ ସ୍ରୋତର ଚୁମ୍ବକଗୁଣ ପରୀକ୍ଷାଦ୍ୱାରା ସ୍ଥିର କରିବାକୁ ଚେଷ୍ଟା କଲେ । ୧୮୮୭ ମସିହାରେ ସେ ବିଦ୍ୟୁତ କୁଣ୍ଡଳୀମାନଙ୍କରୁ ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକ ତରଙ୍ଗ ଉତ୍ପାଦନ କଲେ । ପରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଗଲା ଯେ ଏହି ତରଙ୍ଗଗୁଡ଼ିକର ଗତିବେଗ ଆଲୋକର ଗତିବେଗ ସହିତ ସମାନ । ଶୂନ୍ୟସ୍ଥାନରେ ସ୍ଥାନାନ୍ତରଣ ସ୍ରୋତର ପ୍ରକୃତି ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଅନୁମାନ ସବୁ କ୍ରମେ ଉଭେଇଗଲା । ଏବେ କେବଳ ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର

ମ୍ୟାକ୍ସୱେଲ-ଲରେଞ୍ଜ ସମୀକରଣ ଦ୍ୱାରା ପରିଚାଳିତ ହେଉଛି ବୋଲି କହିବା ସାଧାରଣ ପ୍ରଥା ହୋଇଗଲାଣି । ଗଲା ଶତାବ୍ଦୀରେ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନକୁ ଅତ୍ୟନ୍ତ ଅମୂର୍ତ୍ତ ଓ ଗାଣିତିକ କରିବାର ଯେଉଁ ଚେଷ୍ଟା ହେଉଥିଲା, ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକ ମତବାଦର ବିକାଶ ତାର ଏକ ଦୃଷ୍ଟାନ୍ତ । ବହୁ ବୈଜ୍ଞାନିକ ଏପରି ଚେଷ୍ଟାରେ ସନ୍ତୁଷ୍ଟ ହୋଇ ପାରି ନଥିଲେ ।

1.29 ପୁରାତନ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ ଉପରେ ଘନଛାୟା :

ଊନବିଂଶ ଶତାବ୍ଦୀର ଶେଷ ପୂର୍ବରୁ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ ଏପରି ଏକ ସ୍ତରକୁ ଆସି ଯାଇଥିଲା ଯେ ଦୈନନ୍ଦିନ ଜୀବନରେ ଦୃଶ୍ୟମାନ ଅବସ୍ଥା ପରି ଜଟିଳ ପ୍ରଶ୍ନର ସମାଧାନ ସମ୍ଭବ ହୋଇଥିଲା । ତାପଗତିକୀ ଏବଂ ଗତିତତ୍ତ୍ୱ ସୁଦୃଢ଼ଭାବେ ପ୍ରତିଷ୍ଠିତ ହୋଇଥିଲା । ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକ ତରଙ୍ଗମାନଙ୍କ ସାହାଯ୍ୟରେ ଜ୍ୟାମିତିକ ଓ ଭୌତିକ ଆଲୋକ ବିଜ୍ଞାନ ବୃଦ୍ଧି ହୋଇଥିଲା । ରସାୟନ ଶାସ୍ତ୍ରକୁ ଅଣୁ ସାହାଯ୍ୟରେ ପ୍ରକାଶ କରିବାରେ ମୂଳଦୁଆ ପଡ଼ି ସାରିଥିଲା । ଶକ୍ତି ଓ ସଂବେଗର (ଏବଂ ବସ୍ତୁତ୍ୱର) ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମ ବହୁଳ ଭାବରେ ସ୍ୱୀକୃତ ପାଇଥିଲା । ପୁରାତନ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ ସଫଳତାରେ ପ୍ରତିଷ୍ଠା ଲାଭ କରିଥିଲା । ଏହି ଉନ୍ନତି ଓ ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ଉନ୍ନତି ଏପରି ପରିସ୍ଫୁଟ ହୋଇଥିଲା ଯେ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ବୈଜ୍ଞାନିକମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ଅଳ୍ପ କେତେକ ଛାଡ଼ିଦେଲେ ଅନ୍ୟମାନେ ମନେ କରୁଥିଲେ—ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ ସବୁ ପ୍ରଧାନ ପ୍ରଧାନ ନିୟମଗୁଡ଼ିକ ଆବିଷ୍କୃତ ହୋଇ ସାରିଥିଲା ଏବଂ ଏହାପରେ ଗବେଷଣା କେବଳ ଛୋଟ ଛୋଟ ସମସ୍ୟାଗୁଡ଼ିକର ସମାଧାନରେ ଓ ବିଶେଷ କରି ପରିମାପ ପ୍ରଣାଳୀର ଉନ୍ନତି କରିବାରେ ଆବଦ୍ଧ ହେବ । ସେ ସମୟରେ ଅଳ୍ପ କେତେଜଣ ମାତ୍ର ଦେଖିପାରିଥିଲେ ଯେ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ କେତେକ ଅଭୂତପୂର୍ବ ଅବସ୍ଥାର ଦ୍ୱାର ଦେଶରେ ଆସି ପହଞ୍ଚିଯାଇଛି— ଏହି ଅବସ୍ଥାରଗୁଡ଼ିକ ମର୍ମେ ମର୍ମେ ପ୍ରତିଧ୍ୱନିତ ହୋଇ ଗବେଷଣା ପାଇଁ ଯେଉଁ ପ୍ରେରଣା ଯୋଗାଇବ, ତାହା ଏଥିପୂର୍ବରୁ କେବେ ହେଲେ ଦେଖାନଥିଲା—ଆଜି ମଧ୍ୟ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନର ଆବିଷ୍କାରଗୁଡ଼ିକ ଶିଳ୍ପକ୍ଷେତ୍ରରେ ଯେପରି ବହୁଳ ଭାବରେ ବ୍ୟବହୃତ ହେବ, ତାହା ଏଥିପୂର୍ବରୁ କେବେହେଲେ ଜଣାନଥିଲା ।

ଏହି ଶତାବ୍ଦୀର ଶେଷଆଡ଼କୁ ଏକ୍ସରେ ଓ ତେଜସ୍କ୍ରିୟତା ଆବିଷ୍କୃତ ହେଲା । ଏପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ କେହି ଅନେକ ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରଭାବ, କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁ ବିକିରଣ ଏବଂ ବିଶ୍ଳେଷିତ ରେଖାମାନଙ୍କୁ ପାରିମାଣିକ ଭାବରେ ବୁଝାଇ ପାରି ନଥିଲେ । ହେଲେ ବି, ଅନେକ ବିଶ୍ୱାସ କରୁଥିଲେ ଯେ

ଭବିଷ୍ୟତରେ କେହି ମଣିଷୀ ପୁରାତନ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ ସାହାଯ୍ୟରେ ଏସବୁର ଉତ୍ତର ପାଇ ପାରିବ । ୧୮୯୯ ବେଳକୁ ମଧ୍ୟ ମାଇକେଲ୍ସନ କହିଥିଲେ :

ଭୌତିକ ବିଜ୍ଞାନର ପ୍ରଧାନ ମୌଳିକ ନିୟମଗୁଡ଼ିକ ଏବଂ ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକ ଆବିଷ୍କୃତ ହୋଇ ସାରିଲାଣି ଏବଂ ଏଗୁଡ଼ିକ ଏପରି ଦୃଢ଼ ଭାବରେ ପ୍ରତିପାଦିତ ହୋଇପାରିଛି ଯେ ନୂତନ ଆବିଷ୍କାର ଫଳରେ ସେଗୁଡ଼ିକ ଦୋହଲିଯିବାର ସମ୍ଭାବନା ପ୍ରାୟ ନାହିଁ । ଆମର ଭବିଷ୍ୟତ ଆବିଷ୍କାରଗୁଡ଼ିକ ଦଶମିକ ବିନ୍ଦୁ ପରେ ଷଷ୍ଠସ୍ଥାନର ଅଙ୍କ ଖୋଜିବାରେ ଆବଦ୍ଧ ହେବ ।

କିନ୍ତୁ ଅନ୍ୟମାନେ ଏପରି ନିଶ୍ଚିତ ନଥିଲେ । ୧୯୦୦ ମସିହାରେ ଗୋଟିଏ ବକ୍ତୃତା ଦେଲାବେଳେ ଲର୍ଡ଼ କେଲ୍‌ଭିନ୍ ଆରମ୍ଭ କଲେ "ଗତିବାଦର ନିର୍ମଳତା ଓ ସୌନ୍ଦର୍ଯ୍ୟ ଆଲୋକ ଓ ଉତ୍ତାପକୁ ବିଭିନ୍ନ ପ୍ରକାରର ଗତି ଭାବରେ ବୁଝାଇ ପାରିଛି; ତାହା ବର୍ତ୍ତମାନ ଦୁଇଟି ବାଦଲଦ୍ୱାରା ଢାଙ୍କି ହୋଇଯାଇଛି ।" ଏହି ଘନଗ୍ରସ୍ଥମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ପ୍ରଥମଟି ହେଲା, ତେଜସ ଇଥର ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ କଠିନ ପଦାର୍ଥ ହେଲେ ଏଥିମଧ୍ୟରେ ପୃଥିବୀ କିପରି ଗତି କରୁଛି ?" (ଯାହା ଭିତରେ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକର ତରଙ୍ଗ ଗତି କରୁଛି ବୋଲି ଅନୁମାନ କରାଯାଉଛି) । ଦ୍ୱିତୀୟଟି ସବୁକ୍ଷେତ୍ରରେ ପରୀକ୍ଷା ସହ ମେଳ ଖାଇବା ପରି ଫଳ ଦେବାରେ ହେଲା "ମ୍ୟାକ୍‌ସଓ୍ୱେଲ ବୋଲଜମାନଙ୍କର ଶକ୍ତିର ସମବଣ୍ଟନ ନିୟମ ଉପ୍ପତ୍ତି ।"

ପୁରାତନ ବିଜ୍ଞାନ ସାହାଯ୍ୟରେ ଦୁଇଟି ମଧ୍ୟରୁ କୌଣସି ଘନଗ୍ରସ୍ଥାକୁ ହଟେଇବା ବିଧି ନିର୍ଦ୍ଦେଶ ନଥିଲା; ନୂତନ ଭାବଧାରାର ଆବଶ୍ୟକତା ଥିଲା । ଯେତେବେଳେ ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନ ତାଙ୍କର ଆପେକ୍ଷିକ ମତବାଦ ଦେଲେ, ପ୍ରଥମ ଘନଗ୍ରସ୍ଥାଟି ଅତିଶୀଘ୍ର ବାଷ୍ପୀଭୂତ ହୋଇଗଲା । ଦ୍ୱିତୀୟଟି ଅଳ୍ପେ ଅଳ୍ପେ ବାଷ୍ପରେ ପରିଣତ ହୋଇଥିଲା; କେବଳ ପ୍ଲାଙ୍କଙ୍କର ଶକ୍ତି କଣା $h\nu$ର ବ୍ୟବହାର ଲୋଡ଼ା ନଥିଲା । ନୂତନ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀର ଜନ୍ମ ବିକାଶର ଏଥିପାଇଁ ଆବଶ୍ୟକତା ହୋଇଥିଲା ।

ଦ୍ୱିତୀୟ ଅଧ୍ୟାୟ

ଆପେକ୍ଷିକବାଦ ପ୍ରବେଶ

୧୯୦୫ ମସିହାରେ ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରସ୍ତୁତ ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱ ଭୌତିକ ଚିନ୍ତାଧାରାରେ ଏକ ବିପ୍ଳବ ସୃଷ୍ଟି କରିଛି । ଆପେକ୍ଷିକବାଦ ଆଧୁନିକ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନର ସମସ୍ତ ବିଭାଗକୁ ସ୍ପର୍ଶ କରିଛି ଓ ଅନେକକ୍ଷେତ୍ରରେ ପ୍ରଧାନ ଅଂଶ ଗ୍ରହଣ କରିଛି ।

2.1 ଗାଲିଲିୟ-ନିଉଟନୀୟ ଆପେକ୍ଷିକତା :

ବହୁ ପୂର୍ବକାଳରୁ ଗତି ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଆଲୋଚନା କରାଯାଉଅଛି । ବହୁ ପୂର୍ବକାଳରୁ ଅନୁମାନ କରାଯାଇଅଛି ଯେ, ସମସ୍ତ ଗତି କୌଣସି ନା କୌଣସି ବସ୍ତୁର ସହିତ ତୁଳନା କରି ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଇଥାଏ; କିନ୍ତୁ କାହା ସହିତ ବିସ୍ଥାପନକୁ ତୁଳନା କରାଯିବ, ସେ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ମତ ଦେଖାଯାଏ । ନିଉଟନ ତାଙ୍କର ଗତିସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ଗ୍ରନ୍ଥରେ ଲେଖିଛନ୍ତି "ପରମ ଗତି ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁର ଗୋଟିଏ ପରମ ଅବସ୍ଥାନରୁ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ପରମ ଅବସ୍ଥାନ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ବିସ୍ଥାପନ ହୋଇଥାଏ ।" କିନ୍ତୁ ପରମ ଅବସ୍ଥାନ କହିଲେ, ସେ କ'ଣ ଅର୍ଥ କରୁଥିଲେ ସେ ବର୍ଣ୍ଣନ କରି ନାହାନ୍ତି । ସେ ପରିଷ୍କାର ଭାବରେ କହିଛନ୍ତି ଯେ, ସରଳ ରୈଖିକ ଗତି କେବଳ ଅନ୍ୟ ବସ୍ତୁମାନଙ୍କ ତୁଳନାରେ ଗତିକୁ ଲକ୍ଷ୍ୟ କଲେ ଜାଣିହେବ ।

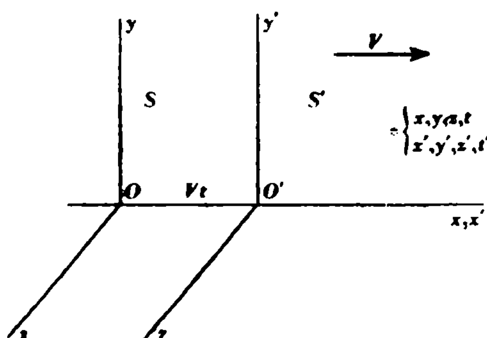
ଗତିର ବିସ୍ତରରେ ଅତିବାହିତ ହେବା ସମୟର ମଧ୍ୟ ପ୍ରଶ୍ନ ଅଛି । ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନଙ୍କ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ, ସ୍ଥାନଠାରୁ ଓ ବସ୍ତୁମାନଙ୍କର ଗୁଣଠାରୁ ସମୟ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଭିନ୍ନ ବୋଲି ବିବେଚିତ ହେଉଥିଲା । ନିଉଟନ କହିଛନ୍ତି, "ପରମ, ପ୍ରକୃତ ଓ ଗାଣିତିକ ସମୟ, ନିଜେ ଓ ନିଜ

ଗୃଣରେ ସମଭାବରେ ଅବିରତ ବହି ଚାଲିଛି, ବାହ୍ୟ କୌଣସି ଘଟଣାର ଏଥି ଉପରେ ପ୍ରଭାବ ନାହିଁ ।" ତେଣୁ ପ୍ରତ୍ୟେକ ସ୍ଥାନରେ ଗୋଟିଏ ସମୟ ସ୍କେଲ ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇପାରିବ ।

ଗୋଟିଏ ଘଟଣା ବିଚାର କର—ଯଥା ଗୋଟିଏ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ନିଉକ୍ଲିୟସର ବିନାଶ ବା କୌଣସି ପୃଷ୍ଠତଳରୁ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ବିକିରଣ । ପୁରାତନ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ ଅନୁସାରେ, ଗୋଟିଏ ଘଟଣାର ଘଟିବା ସ୍ଥାନ ନିର୍ଦ୍ଦେଶ କରିବା ଉଦ୍ଦେଶ୍ୟରେ ଆମେ ଦୂରତା ମାପ କରିବାପାଇଁ ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦେଶନ ଫ୍ରେମ୍ (frame of reference) ବ୍ୟବହାର କରିଥାଉ । ସମୟ ଜାଣିବାପାଇଁ, ଆମର କୌଣସି ନିର୍ଦ୍ଦେଶନ ବ୍ୟବସ୍ଥା ଥିବା ଦରକାର (ଅର୍ଥାତ୍ ପୃଥିବୀର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ) ଯାହା ସାହାଯ୍ୟରେ ସମୟ ନିର୍ଦ୍ଦେଶ କରାଯାଇ ପାରିବ । ଅବସ୍ଥାନ ଓ ସମୟ ନିର୍ଦ୍ଧାରଣ କରିବାର ବାସ୍ତବ ପ୍ରଣାଳୀକୁ, ଏଗୁଡ଼ିକ ବ୍ୟବହାର କରିବାର ଉପାୟକୁ ଗୋଟିଏ ସ୍ଥାନ-ସମୟ ନିର୍ଦ୍ଦେଶନ ଫ୍ରେମ୍ ବୋଲି କୁହାଯାଏ । ଯେତେବେଳେ କୌଣସି ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦେଶନ ଫ୍ରେମ୍‌ରେ ନିଉଟନଙ୍କ ଗତି ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ନିୟମଗୁଡ଼ିକ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହୁଏ, ତାହାକୁ ଗୋଟିଏ ଅନ୍ତଃଫ୍ରେମ୍ କୁହାଯାଏ । ଏପରି ଗୋଟିଏ ଫ୍ରେମ୍‌କୁ ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନ ଗାଲିଲୀୟ ନିର୍ଦ୍ଦେଶନ ସଂସ୍ଥା ବୋଲି କହିଥିଲେ କାରଣ ଗାଲିଲୀଓଙ୍କ ଜଡ଼ତ୍ୱ ନିୟମ ସେଥିରେ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହୋଇଥିଲା (କେତେକ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନବିତ୍ ଯୁକ୍ତି କରନ୍ତି ଯେ, 'ନିଉଟନୀୟ ଫ୍ରେମ୍' ବୋଲି ଏହାକୁ ନାମକରଣ କରିବା ଅଧିକ ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ହେବ, କାରଣ ଗୋଟିଏ ଫ୍ରେମ୍ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ହୁଏ କେବଳ ଯଦି ଏଥିରେ ନିଉଟନଙ୍କ ଗତି ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ନିୟମ ପ୍ରଯୋଜ୍ୟ ହୋଇଥାଏ ।

ବର୍ତ୍ତମାନ ମନେକର ଆମର ଦୁଇଟି ନିର୍ଦ୍ଦେଶନ ଫ୍ରେମ୍ ଅଛି—ପ୍ରତ୍ୟେକ ଅନ୍ୟଟି ତୁଳନାରେ ସରଳରୈଖିକ ଭାବରେ ସମବେଗରେ ଗତିଶୀଳ । ଦୁଇ ଫ୍ରେମ୍‌କୁ S ଓ S' କହିବା; S ତୁଳନାରେ S'ର ଗତିବେଗ $\vec{V}$ ହେଉ । କୌଣସି ଘଟଣାର ସ୍ଥାନାଙ୍କ ଓ ସମୟ S ଫ୍ରେମ୍ ବ୍ୟବହାର କଲେ x, y, z, t ଦ୍ୱାରା ସୂଚିତ ହୁଅନ୍ତୁ ଏବଂ S' ଫ୍ରେମ ବ୍ୟବହାର କଲେ ସେହି ଘଟଣାର x', y', z', t' ଦ୍ୱାରା ସୂଚିତ ହୁଅନ୍ତୁ । ଏହି ଚରଗୁଡିକ ମଧ୍ୟରେ ସମ୍ବନ୍ଧ ଯେତେ ସମ୍ଭବ ସେତେ ସରଳ କରିବାପାଇଁ ଆମେ ଅକ୍ଷଗୁଡ଼ିକୁ ଏପରି ଭାବରେ ନେବା ଯେ x ଓ x' ଅକ୍ଷଦ୍ୱୟ $\vec{V}$ କୁ ସମାନ୍ତର ହେବେ ଓ ସେହିକାରଣରୁ

ପରସ୍ପର ଦିଗରେ ଘଟିହୋଇ ରହିବେ । y' ଓ z' ଅକ୍ଷଦ୍ୱୟ ଯଥାକ୍ରମେ y ଓ z କୁ ସମାନ୍ତର ହୋଇଛି (ଚିତ୍ର ୨-୧) । ଯେତେବେଳେ ମୂଳବିନ୍ଦୁଦ୍ୱୟ O ଓ O' ମିଳି କରି



[ଚିତ୍ର ୨-୧ ନିର୍ଦ୍ଦେଶ ଫ୍ରେମ୍ s ନିର୍ଦ୍ଦେଶ ଫ୍ରେମ୍ Sର x ଅକ୍ଷରେ ଧ୍ରୁବ ଗତିବେଗ $\vec{V}$ ରେ ଗତି କରୁଅଛି ।]

ରହିଥିବେ, ସେହି ସମୟରୁ ସମୟ ଗଣନା ଆରମ୍ଭ କରିବା । ତେବେ, O ର ସ୍ଥାନାଙ୍କ ସବୁ s ଫ୍ରେମ୍‌ରେ ମାପ କରାଗଲେ ହେବେ,

$$x = Vt,\ y = 0,\ z = 0$$

ଯଦି ଗୋଟିଏ ଘଟଣା s ଫ୍ରେମ୍‌ରେ x, y, z ଓ t ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ସ୍ଥାନ ଓ ସମୟରେ ଘଟିଥାଏ, ପୁରାତନ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ ଅନୁସାରେ ଫ୍ରେମ୍ S'ରେ x', y', z', t' ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହେବ; ଏଠାରେ

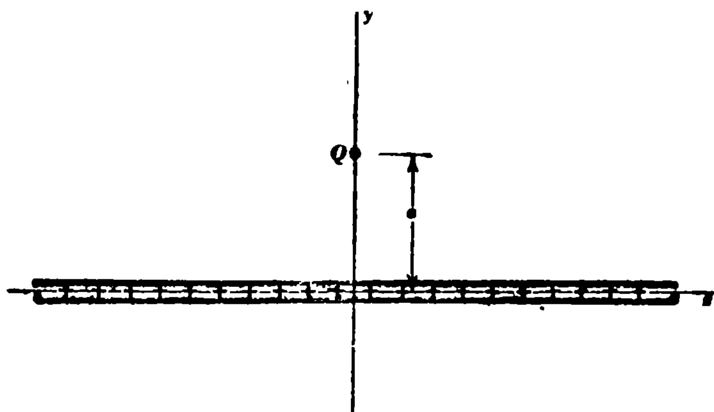
$$x' = x - Vt \qquad z' = z \qquad \text{ଗାଲିଲୀୟ} \qquad (୨.୧)$$
$$y' = y \qquad t' = t \qquad \text{ପରିବର୍ତ୍ତନ}$$

ଏହି ସମୀକରଣ ସବୁ ପୁରାତନ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନରେ ସ୍ଥାନ-ସମୟ ପରିବର୍ତ୍ତନର ସମୀକରଣ । ଏହି ସମୀକରଣଗୁଡ଼ିକ ସାହାଯ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦେଶକ ଫ୍ରେମର ସ୍ଥାନ-ସମୟ ଅଙ୍କଗୁଡ଼ିକୁ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦେଶକ ଫ୍ରେମର ‍ଦ୍ୱିତୀୟଟି ତୁଳନାରେ ପ୍ରଥମଟି v ଗତିବେଗରେ ଗତି କରୁଥିଲେ ସ୍ଥାନ ସମୟ ଅଙ୍କଗୁଡ଼ିକରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ କରି ହେବ । ଗାଲିଲୀୟ ପରିବର୍ତ୍ତନରେ ଯାନ୍ତ୍ରିକର ନିୟମଗୁଡ଼ିକ S ଓ S' ଫ୍ରେମ୍‌ରେ ଏକା,

କାରଣ ଯାନ୍ତ୍ରିକ ବଳ ଓ ତ୍ୱରଣ ଦୁଇ ଫ୍ରେମ୍‌ରେ ଏକା । ଆମେ ଦେଖିବା ଯେ, ପୁରାତନ ନିୟମଗୁଡ଼ିକ କେବଳ ମୋଟାମୋଟି ଭାବରେ ଠିକ୍ ।

2.2 ଗାଲିଲୀୟ ଓ ଆପେକ୍ଷିକତା ବିଦ୍ୟୁତ :

ପୁରାତନ ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକର ନିୟମଗୁଡ଼ିକ ଗାଲିଲୀୟ ପରିବର୍ତ୍ତନ ସହିତ ଖାପ ଖାଏନାହିଁ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ଗୋଟିଏ ଅସୀମ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ତାରରେ ପ୍ରତି ଏକକ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ମଧ୍ୟରେ ρ_L ଚାର୍ଜ ଥାଉ ଏବଂ ଏହାଠାରୁ a ଦୂରତାରେ ଗୋଟିଏ ଚାର୍ଜ Q ରହୁ । ତାରଟି ଏବଂ ଚାର୍ଜ q ଉଭୟ ନିର୍ଦ୍ଦେଷ୍ଟ ଫ୍ରେମ Sରେ (ଚିତ୍ର ୨-୨) ସ୍ଥିର ରହନ୍ତୁ । ଚାର୍ଜ Q ଗୋଟିଏ ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ର $\frac{\rho_L}{2\pi E_o a}$ ଅନୁଭବ କରିବ ଓ S ରେ କୌଣସି ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ଅନୁଭବ ହେବନାହିଁ, କାରଣ ଏଥିରେ ସମସ୍ତ ଚାର୍ଜ ସ୍ଥିର ଅଛନ୍ତି ।



[ଚିତ୍ର ୨-୨ ଗୋଟିଏ $\rho_L \frac{c}{m}$ ଚାର୍ଜ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ତାରଠାରୁ a ଦୂରତାରେ ଗୋଟିଏ ବିନ୍ଦୁ ଚାର୍ଜ Q]

ଯଦି S' ତାହାର ବାମକୁ S ତୁଳନାରେ V ଗତିରେ ଯାଏ, S ରେ ସମସ୍ତ ଚାର୍ଜ ବାମପଟକୁ v ଗତିରେ ଯିବେ । ସେତେବେଳେ q ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଗତି କରିବ, ଏହି କ୍ଷେତ୍ରର ପରିମାଣ

$$\vec{B'_z} = -\frac{\mu_0 I}{2\pi a} = -\frac{\mu \rho_L v}{2\pi a} \quad \text{ଗାଲିଲୀୟ ପରିବର୍ତ୍ତନ}$$

ଲରେଞ୍ଜରଙ୍କ ସମୀକରଣ ଅନୁସାରେ, $\vec{F} = Q(\vec{E} + \vec{V} \times \vec{B})$, ତେଣୁ S' ଫ୍ରେମ୍‌ରେ Q ଉପରେ ବଳ, ବିଦ୍ୟୁତ ତୀବ୍ରତା (ଏହା S ଓ S'ରେ ସମାନ) ଓ ଉକ୍ତ ଚୁମ୍ବକୀୟ କ୍ଷେତ୍ରର ପରିଣାମ । ତେଣୁ ସ୍ୱର୍ଜ Q ମୋଟରେ ବଳ ଅନୁଭବ କରେ

$$S' \text{ ଫ୍ରେମ୍‌ରେ } F_r' = \frac{Q \rho_L}{2\pi \in_0 a} - \frac{Q\mu_0 \rho_L v^2}{2\pi a} \quad \text{ଗାଲିଲୀୟ}$$

କିନ୍ତୁ S ଫ୍ରେମ୍‌ରେ

$$F_r = \frac{q \rho_L}{2\pi \in_0 a} \quad \text{ଗାଲିଲୀୟ}$$

ଏଥିରୁ ସ୍ପଷ୍ଟ ଯେ, ପୁରାତନ ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକ ତତ୍ତ୍ୱ ଓ ଗାଲିଲୀୟ ଆପେକ୍ଷିକବାଦ ମିଶି ଦୁଇ ଜଡ଼ତ୍ୱୀୟ ଫ୍ରେମ୍‌ରେ q ଉପରେ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ବଳ ପଡ଼ୁଥିବାର ହିସାବ ଦିଅନ୍ତି । କିନ୍ତୁ ଅନ୍ୟ ପକ୍ଷରେ ସମୀକରଣ (୨.୧) ଏକା ତ୍ୱରଣ ଦେଉଥାଏ । ତେଣୁ ଏଠାରେ କୌଣସି ଗୋଟିଏ ଠିକ୍ ନୁହେଁ—ହୁଏ ତ ଗାଲିଲୀୟ ପରିବର୍ତ୍ତନ ବା ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ତତ୍ତ୍ୱ ବା ନିଉଟନୀୟ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ, କୌଣସିଟିରେ କିଛି ଭ୍ରମ ଅଛି । ଆମେ କହୁ ଯେ, ପୁରାତନ ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକ ତତ୍ତ୍ୱର ନିୟମଗୁଡ଼ିକ ନିଉଟନୀୟ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ସଙ୍ଗେ ମିଶିଲେ ଗାଲିଲୀୟ ପରିବର୍ତ୍ତନରେ ଅପରିବର୍ତ୍ତନୀୟ ନୁହେଁ ।

2.3 ଆପେକ୍ଷିକବାଦ ଓ ଆଲୋକର ଗତି :

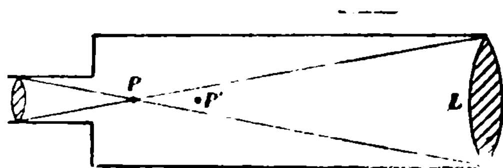
ଆଲୋକର ତରଙ୍ଗବାଦକୁ ଗ୍ରହଣ କରିବାଦ୍ୱାରା ଗତି ସମସ୍ୟା ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ନୂତନ ପ୍ରଶ୍ନର ଉଦ୍ରେକ ହେଲା । ଯଦି ଆଲୋକ ଇଥରରେ (ଅନୁ. ୧.୨୪) ଏକ ତରଙ୍ଗ, ଏହି ତରଙ୍ଗଗୁଡ଼ିକର ଇଥର ତୁଳନାରେ ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଗତି ଥିବା ଦରକାର ଏବଂ ଏହି ତରଙ୍ଗମାନଙ୍କର ଗତି ବସ୍ତୁମାନଙ୍କ ତୁଳନାରେ ଏହି ବସ୍ତୁଗୁଡ଼ିକରେ ଇଥର ମଧ୍ୟରେ ଗତି କଲାବେଳେ ନିଶ୍ଚୟ ବଦଳିବ । ଏହିପରି ଉକ୍ତସବୁ ବସ୍ତୁ-ମାଧ୍ୟମମାନଙ୍କରେ ଗତି କରୁଥିବା ତରଙ୍ଗମାନଙ୍କ ସମ୍ବନ୍ଧରେ କହିଗଲେ ନିଶ୍ଚିତଭାବରେ ସତ୍ୟ ବୋଲି ଜଣାଅଛି ।

ଉଦାହରଣସ୍ୱରୂପ, ଧ୍ୱନି ତରଙ୍ଗଗୁଡ଼ିକ ବାୟୁ ମଧ୍ୟରେ ବାୟୁ ତୁଳନାରେ ଏକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଗତି ବେଗରେ ଗତି କରିଥାଏ । ଯଦି ଆଲୋକ ଇଥର ତୁଳନାରେ କୌଣସି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ବେଗରେ ଗତିକରେ, ଆଲୋକ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ଯନ୍ତ୍ରପାତି ଇଥର ମଧ୍ୟରେ ଗତି କଲାବେଳେ କେତେକ ଆଲୋକ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ଘଟଣା ପ୍ରଭାବିତ ହେବ । ଅବଶ୍ୟ ଲାବରେଟୋରୀରେ ବସ୍ତୁମାନଙ୍କୁ ଯେଉଁ ଗତି ଦେଇ ହେବ, ତାହା ଆଲୋକର ଗତି ତୁଳନାରେ ବହୁତ କମ୍ । ତେବେ ସୂର୍ଯ୍ୟ ଚାରିପଟେ ପୃଥିବୀ ନିଜ କକ୍ଷରେ ଯେଉଁ ବେଗରେ ଗତି କରେ, ତାହା କିଛି କ୍ଷେତ୍ରରେ ଆଲୋକର ଗତି Cର ପ୍ରାୟ ଏକ ଦଶମାଂଶ ।

ଗୋଟିଏ ଦୂରବୀକ୍ଷଣ ଯନ୍ତ୍ରର ବସ୍ତୁ ଲେନ୍ସଦ୍ୱାରା ତିଆରି ହେଉଥିବା ପ୍ରତିବିମ୍ବଗୁଡ଼ିକର ଗଠନର ବିଷୟ ଗୋଟିଏ ଶିକ୍ଷାପ୍ରଦ ବିଷୟ ହେବ । ମନେକର ଚିତ୍ର ୨-୩ରେ ଦେଖାଯାଇଥିବା ଦୂରବୀକ୍ଷଣ ଯନ୍ତ୍ରରେ ଗୋଟିଏ ତାରକାରୁ ଆଲୋକ ଆସି ପ୍ରବେଶ କଲା । ଯେତେବେଳେ ଦୂରବୀକ୍ଷଣ ଯନ୍ତ୍ରଟି ଇଥରରେ ସ୍ଥିର ରହିଥିଲା, ତରଙ୍ଗଗୁଡ଼ିକ ଫୋକସ୍‌କୁ ଆସି ଛିଦାତାର P ଠାରେ ତାରକାର ପ୍ରତିବିମ୍ବ କଲା । ଯେତେବେଳେ ଦୂରବୀକ୍ଷଣ ଯନ୍ତ୍ରଟି ତାରକାଆଡ଼କୁ ଗତି କଲା, ତରଙ୍ଗଗୁଡ଼ିକ ଇଥରରେ ପୂର୍ବରୁ ଯେଉଁ ବିନ୍ଦୁରେ ଏକତ୍ରିତ ହେଉଥିଲା, ସେହି ବିନ୍ଦୁରେ ଏକତ୍ରିତ ହେବା ଆଶା କରାଯାଇପାରିବ । କିନ୍ତୁ ଯେତେବେଳେ ତରଙ୍ଗଗୁଡ଼ିକ ଲେନ୍ସଟିଠାରୁ ଏହି ବିନ୍ଦୁକୁ ଆସୁଥିବ, ଦୂରବୀକ୍ଷଣ ଯନ୍ତ୍ରଟି ଆଗକୁ ଘୁଞ୍ଚିଯିବ ଓ ତାସଙ୍ଗେ ଛିଦା ତାର ଆଉ ଗୋଟିଏ ବିନ୍ଦୁ P'କୁ ଘୁଞ୍ଚିଯିବ । ତେଣୁ ତାରକାର ପ୍ରତିବିମ୍ବ ଉପରେ ଫୋକସ୍ କରିବାପାଇଁ ଚକ୍ଷୁ ପୁତୁଳିକା ଆହୁରି ଟାଣି ଦେବାକୁ ହେବ । ତେଣୁ ଦୂରବୀକ୍ଷଣ ଯନ୍ତ୍ର ଫୋକାଲ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବଢ଼ିଗଲା ପରି ମନେ ହେବ । ସେହିପରି, ଯଦି ଦୂରବୀକ୍ଷଣ ଯନ୍ତ୍ରଟି ଆଲୋକର ବିପରୀତ ଦିଗରେ ଗତି କରେ, ଏହାର କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ଫୋକାଲ ଦୈର୍ଘ୍ୟ କମିଯିବ । ତେଣୁ, ତାରକାମାନଙ୍କୁ ଦେଖିବାପାଇଁ ଗୋଟିଏ ଜ୍ୟୋତିଷ ଦୂରବୀକ୍ଷଣ ଯନ୍ତ୍ରକୁ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ଦିଗକୁ ବୁଲାଇଲେ, ଏହାର ପ୍ରଭାବିତ ଫୋକାଲ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ସାମାନ୍ୟ ପରିମାଣରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇଯିବା ଆଶା କରାଯିବ—ଏହା ପୃଥିବୀର କକ୍ଷୀୟ ଗତି ଲାଗି ଘଟିବ । ବହୁକାଳରୁ ଆରାଗୋ ଏହା ଦେଖିବାକୁ ଚେଷ୍ଟା କରି ନିରାଶ ହୋଇଥିଲେ ।

ଏହିପରି ଅନ୍ୟ ନାସ୍ତିବାଚକ ଫଳାଫଳରୁ ୧୮୧୮ରେ ଫ୍ରିନେଲ୍ ପ୍ରସ୍ତାବ ଦେଲେ ଯେ, ସ୍ୱଚ୍ଛ ଦେଖଣୀୟ ବସ୍ତୁସବୁ ଆଂଶିକ ଭାବରେ ଆଲୋକ ତରଙ୍ଗସବୁକୁ ସେମାନଙ୍କ ସଙ୍ଗରେ

ଟାଣି ନେଇ ପାରନ୍ତି । ଏଠାରେ ଆଲୋଚ୍ୟ ଘଟଣାରେ, ଯଦି ଲେନ୍ସ L ତା'ର ଗତି ସଙ୍ଗେ ଆଲୋକକୁ ଟାଣିନିଏ (ଚିତ୍ର ୨-୩ରେ ଡାହାଣ ପଟକୁ) ଏହାର ଯେଉଁ ଅଂଶ ଲେନ୍ସର କେନ୍ଦ୍ର ଦେଇଯିବ, ତାହା ଲେନ୍ସ ମଧ୍ୟରେ ଅଧିକ ସମୟ ରହିବ; ତେଣୁ ଏହା ଗତି ନଥିଲେ ଯେତେ ପଛେଇ ଯାଇଥାନ୍ତା, ତା ତୁଳନାରେ ଅଧିକ ପଛେଇଯିବ । ଫଳରେ ଲେନ୍ସରୁ ତରଙ୍ଗଟି ଆକାରରେ ଅଧିକ ଅବତଳ ହୋଇ ବାହାରିବ ଏବଂ ଲେନ୍ସ ନିକଟତର ସ୍ଥାନରେ



[ଚିତ୍ର ୨-୩ ଇଥର ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ଦୂରବୀକ୍ଷଣ ଯନ୍ତ୍ରର ଗତିର ଛନ୍ଦାତାର ତୁଳନାରେ ବସ୍ତୁ ଲେନ୍ସ ଦ୍ୱାରା ସୃଷ୍ଟ ପ୍ରତିବିମ୍ବର ଅବସ୍ଥାନ ଉପରେ ପ୍ରଭାବ]

ଫୋକସ୍ ହେବ । ଯଦି ଏହା ଠିକ୍ ପରିମାଣରେ ଟାଣି ହୋଇଥାଏ, ତେବେ ପ୍ରକୃତ ଫୋକାଲ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ଉପରେ କୌଣସି ପ୍ରଭାବ ପଡ଼ିବନାହିଁ; ଦୂରବୀକ୍ଷଣ ଯନ୍ତ୍ରଟି ଯେପରି ଗତି କଲେ ମଧ୍ୟ ତାରକାର ପ୍ରତିବିମ୍ବ ଛନ୍ଦା ତାର ଉପରେ ପଡ଼ିବ । ଫ୍ରେନେଲ୍ ଦେଖାଇଲେ ଯେ ପ୍ରତିସରଣର ପ୍ରତ୍ୟେକ ଘଟଣା ଅପରିବର୍ତ୍ତିତ ରହିବ ଯଦି ଆଲୋକର ଗୋଟିଏ ନିୟମ ହୁଅନ୍ତା—କୌଣସି ଗତିଶୀଳ n ପ୍ରତିସରଣାଙ୍କ ବିଶିଷ୍ଟ ସ୍ୱଚ୍ଛ ମାଧ୍ୟମ ଆଲୋକର ଗତିବେଗକୁ ଏପରି ପରିବର୍ତ୍ତିତ କରିଦେବ ଯେ ସ୍ଥିର ମାଧ୍ୟମରେ ଏହାର ଗତିବେଗ ସହିତ ମାଧ୍ୟମର ଗତି ବେଗର $\left(1-\frac{1}{n^2}\right)$ ପରିମାଣ ଭେକ୍ଟର ରୂପରେ ଯୋଗ କଲେ ତାହା ମିଳିବ । ଅର୍ଥାତ୍,

ଭେକ୍ଟର ଗତି ବେଗ $\vec{u}$ ରେ ଗତି କରୁଥିବା ଗୋଟିଏ ମାଧ୍ୟମରେ [କୌଣସି ଯେଉଁଦିଗରେ

ଆଲୋକର ଭେକ୍ଟର ଗତିବେଗ, ଭେକ୍ଟର ପରିମାଣ $\left(1-\frac{1}{n^2}\right)\vec{u}$]ଓ ଗୋଟିଏ

ଭେକ୍ଟର ପରିମାଣ $\frac{c}{n}$ ର ଯୋଗଫଳ ।

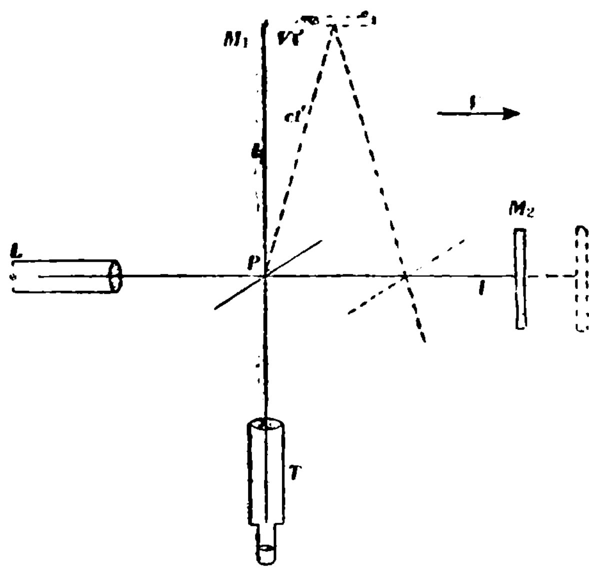
୧୮୫୧ ରେ ଫିଜୋ ଏକ ବ୍ୟତିକରଣ ପ୍ରଣାଳୀରେ ଦେଖାଇଲେ ଯେ, ଗୋଟିଏ ଗତିଶୀଳ ଜଳସ୍ରୋତ ଆଲୋକ ତରଙ୍ଗଗୁଡ଼ିକୁ ଫ୍ରିନେଲଙ୍କ କଳ୍ପନା ପରିମାଣରେ ଟାଣିନେଉଛି । ଏଥିରୁ ଭଲରୂପେ ଜଣାଅଛି ଯେ ପୃଥିବୀର କକ୍ଷୀୟ ଗତିରେ ବାର୍ଷିକ ପରିବର୍ତ୍ତନ ତାରକାମାନଙ୍କର ପ୍ରତୀତ ହେଉଥିବା ଅବସ୍ଥାନରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ଘଟାଇଥାଏ, ଏହାକୁ ଜ୍ୟୋତିଷ୍କ ବିପଥନ କୁହାଯାଏ (ଅନୁ: ୧୦.୧୯), କିନ୍ତୁ ଏହା ଅନ୍ୟ ଏକ ବିଷୟ । ସନ୍ଦେହ କରାଯାଇପାରେ ଯେ, ପ୍ରାଥମିକ ପରୀକ୍ଷାସବୁ ସେତେ ସୂକ୍ଷ୍ମ ହୋଇ ନଥିଲା । ତେଣୁ ପୃଥିବୀର ଗତି ଫଳରେ ସାମ୍ଭାବ୍ୟ ପ୍ରଭାବ ଜାଣି ହୁଅନ୍ତାନାହିଁ । କିନ୍ତୁ ୧୮୭୧ ମସିହାରେ ଆଇରିଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଅନ୍ୟତମ ଗୋଟିଏ ସୂକ୍ଷ୍ମ ପରୀକ୍ଷା ସମ୍ପାଦିତ ହୋଇଥିଲା । ସେ ଗୋଟିଏ ଦୂରବୀକ୍ଷଣ ଯନ୍ତ୍ରର ନଳକୁ ଜଳପୂର୍ଣ୍ଣ କରିଥିଲେ ଓ ଦେଖିଲେ ଯେ ଜଳ ଥିଲେ ବା ନଥିଲେ ତାରକାର ପ୍ରତିବିମ୍ବର ଅବସ୍ଥାନ ଏକାସ୍ଥାନରେ ହେଉଅଛି—ଯଦିଓ ବାୟୁ ଅପେକ୍ଷା ଜଳରେ ଗତି କଲାବେଳେ ଫୋକାଲ ସମତଳରେ ପହଞ୍ଚିବାପାଇଁ ଆଲୋକକୁ ଅଧିକ ସମୟ ଲାଗୁଛି ।

ଫ୍ରିନେଲ୍ ଓ ଲରେଞ୍ଜ ଦେଖାଇଲେ ଯେ, ଇଥରରେ ଯନ୍ତ୍ରପାତିର ଗତି ଫଳରେ ଆଲୋକ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ କୌଣସି ଘଟଣାରେ ପ୍ରଥମ କୋଟୀର ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୁଏନାହିଁ । ହୁଏତ ଦ୍ୱିତୀୟ କୋଟୀର ଫଳାଫଳ ଘଟିପାରେ । ପୃଥିବୀର କକ୍ଷୀୟ ଗତିବେଗର ବର୍ଗ କେବଳ $10^{-8}c^2$ ହୋଇଥିବାରୁ ଏପ୍ରକାର ଫଳାଫଳ ଲକ୍ଷ୍ୟ କରିବା କଷ୍ଟକର । ଗୋଟିଏ ଅତ୍ୟନ୍ତ ସୂକ୍ଷ୍ମ ପ୍ରଣାଳୀରେ ଏହା ଲକ୍ଷ୍ୟ କରିବାର ଚେଷ୍ଟା କରି ମାଇକେଲସନ୍ ତାଙ୍କର ବ୍ୟତିକରଣମାପକ ଉଦ୍ଭାବନ କରିଥିଲେ । ଏହା ସାହାଯ୍ୟରେ ୧୮୮୭ରେ ସେ ଓ ମର୍ଲେ ଯେଉଁ ବିଖ୍ୟାତ ପରୀକ୍ଷା ସମାପନ କଲେ, ତାହା ଦ୍ୱିତୀୟ ଘାତର ଫଳାଫଳ ପ୍ରକୃତରେ ଥିଲେ ଦେଖାଇ ଦେଇଥାଆନ୍ତା ।

2.4 ମାଇକେଲସନ୍-ମର୍ଲେ ପରୀକ୍ଷା :

ଏହି ପରୀକ୍ଷାରେ ବ୍ୟବହୃତ ବ୍ୟତିକରଣମାପକ ବ୍ୟବସ୍ଥାରେ (ଚିତ୍ର ୨-୪) ଗୋଟିଏ ଲ୍ୟାମ୍ପ L ରୁ ଆଲୋକ ଯାଇ ଅର୍ଦ୍ଧପ୍ରତିଫଳକ କାଚ ପ୍ଲେଟ Pରେ ପଡ଼େ । ଏହି କାଚ, ରଶ୍ମିପଥ ପ୍ରତି 45°ରେ ରହିଥାଏ । ଏହି କାଚରେ ପ୍ରତି ତରଙ୍ଗ ଦୁଇ ଭାଗରେ ବିଭକ୍ତ ହୋଇଯାଏ । Pରୁ ପ୍ରତିଫଳିତ ହୋଇ ଏକ ଅଂଶ ପାର୍ଶ୍ୱରେ M_1 ଦର୍ପଣକୁ ଯାଏ ଓ

ଏଠାରୁ ପ୍ରତିଫଳିତ ହୋଇ Pକୁ ଫେରିଆସେ । ତାପରେ ଏଥର ଏକ ଅଂଶ P ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଗତିକରେ ଓ ଦୂରବୀକ୍ଷଣ ଯନ୍ତ୍ର T ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରବେଶ କରେ । ପ୍ରଥମ ତରଙ୍ଗରୁ



[ଚିତ୍ର ୨-୪ ମାଇକେଲ୍‌ସନ-ମର୍ଲେ ପରୀକ୍ଷା]

ଅନ୍ୟ ଅଂଶଟି P ମଧ୍ୟଦେଇ ଗତି କରି ଆଗେଇଯାଏ ଓ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ଦର୍ପଣ M_2 ରୁ ପ୍ରତିଫଳିତ ହୋଇ ଫେରିଆସେ । Pରୁ ଫେରିଆସି ଆଂଶିକ ଭାବରେ ଦୂରବୀକ୍ଷଣ ଯନ୍ତ୍ର ମଧ୍ୟକୁ ପ୍ରତିଫଳିତ ହୋଇଥାଏ । ଏହା ତରଙ୍ଗର ପ୍ରଥମ ଅଂଶ ସହିତ ମିଶି ଏକ ବ୍ୟତିକରଣ ବିନ୍ୟାସ ସୃଷ୍ଟି କରେ ।

ପ୍ଲେଟ୍ P ଠାରୁ ଦର୍ପଣ ଦୁଇଟି ଏକା ଦୂରତାରେ ଥାଆନ୍ତି । ଯନ୍ତ୍ର ଇଥରରେ ଯଦିପାତ ସ୍ଥିର ଥାଏ, ତରଙ୍ଗ ଦୁଇଟି Pକୁ ଫେରିବାପାଇଁ ଏକା ସମୟ ନିଅନ୍ତି; ସେଠାରେ ଓ ଦୂରବୀକ୍ଷଣ ଯନ୍ତ୍ରରେ ଏମାନେ ଏକା କଳାରେ ମିଳିତ ହୁଅନ୍ତି । ମନେକର ଯନ୍ତ୍ରପାତି ପ୍ରଥମ ଆଲୋକ ରଶ୍ମିର ଦିଗରେ ଇଥର ମଧ୍ୟରେ v ବେଗରେ ଗତି କରୁଅଛି । ପ୍ରଥମେ ତରଙ୍ଗ, ପ୍ଲେଟ୍ Pକୁ ଚିତ୍ରରେ ଦେଖାଯାଇଥିବା ଅବସ୍ଥାନରେ ଆଘାତ କରିବା କ୍ଷେତ୍ରରେ, ତରଙ୍ଗମାନଙ୍କର ଗତିପଥ ଏବଂ ଦର୍ପଣ ଓ ପ୍ଲେଟ୍‌ଠାରୁ ପ୍ରତିଫଳନର ପର ଅବସ୍ଥାନ

ଭଗ୍ନରେଖାଦ୍ୱାରା ଦର୍ଶାଯାଇଅଛି । ଅନୁପ୍ରସ୍ଥ ରଶ୍ମିର ବଗରେ ଆବଶ୍ୟକୀୟ ପରିବର୍ତ୍ତନ ଆପେ ଆପେ ହୋଇଥାଏ, ହାଇଜେନଙ୍କ ନୀତି ଅନୁସାରେ ବ୍ୟପଥନ ଫଳାଫଳ ଅନୁସାରେ ଏହା ହୋଇଥାଏ । କିନ୍ତୁ ବର୍ତ୍ତମାନ ଦୁଇ ତରଙ୍ଗର ଯାତାରେ ଲାଗୁଥିବା ସମୟ ଆଉ ସମାନ ହୁଏନାହିଁ । M_2 ଆଡ଼କୁ ଗତି କରୁଥିବା ଅନୁଲମ୍ବ ତରଙ୍ଗର, ଯନ୍ତ୍ରପାତି ତୁଳନାରେ ଗତିବେଗ ଆଗେଇ ଗଲାବେଳେ $c-V$ (ଏଠାରେ c ହେଲା ଇଥରରେ ଆଲୋକର ଗତିବେଗ), ଏବଂ ଫେରିଲାବେଳେ $c+V$ । ତେଣୁ ଏହି ତରଙ୍ଗର ଲୋଡ଼ା ହେଉଥିବା ସମୟ ହେଲା,

$$t_2 = \frac{l}{c-V} + \frac{l}{c+V} = \frac{2lc}{c^2 - V^2} = \frac{2l}{c}\left(1 + \frac{V^2}{c^2} + \cdots\right)$$

ଏଠାରେ l ହେଲା ପ୍ଲେଟଠାରୁ ଯେକୌଣସି ଗୋଟିଏ ଦର୍ପଣ ପାଖକୁ ଦୂରତା । ଅନ୍ୟ ପକ୍ଷରେ ଅନୁପ୍ରସ୍ଥ ଭାବରେ ଗତି କରୁଥିବା ତରଙ୍ଗ, ଗୋଟିଏ ସମକୋଣୀ ତ୍ରିଭୁଜର କର୍ଣ୍ଣ ବାଟେ ଗତି କରେ; ଏହି ତ୍ରିଭୁଜର ଗୋଟିଏ ବାହୁ l । P ଠାରୁ M_1 ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଯିବାପାଇଁ ତାକୁ t' ସମୟ ଲାଗୁ, ଏହି ସମୟରେ ଏହା ct' ଦୂରତା ଅତିକ୍ରମ କରେ । ସେହି ସମୟ ମଧ୍ୟରେ ଦର୍ପଣ M_1 ଦୂରତା vt' ଆଗେଇ ଯାଇଥାଏ । ତେଣୁ; $c^2t'^2 = v^2t'^2 + l^2$ ହୋଇଥିବାରୁ ଏହି ତରଙ୍ଗ Pକୁ

$$t_1 = 2t' = \frac{2l}{(c^2 - v^2)^{\frac{1}{2}}} = \frac{2l}{c}\left(1 + \frac{v^2}{2c^2} + \cdots\right)$$

ସମୟ ପରେ ଫେରିଆସେ । ତେଣୁ ଦୁଇ ତରଙ୍ଗ ଦୂରବୀକ୍ଷଣ ଯନ୍ତ୍ରରେ

$$\frac{2\pi c\,(t_2 - t_1)}{\lambda} = \frac{2\pi l v^2}{c^2 \lambda}$$ rad (λ ହେଲା ଆଲୋକର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ) କଳା ବ୍ୟବଧାନରେ ବ୍ୟତିକରଣ ଘଟାନ୍ତି ।

ପରୀକ୍ଷା କରିବା ସମୟରେ ଯନ୍ତ୍ରଟିକୁ ପାରଦରେ ଭସାଇ ଦିଆଯାଇଥିଲା ଓ ଏହାକୁ ବାରମ୍ବାର 90°ରେ ଘୂରାଇ ଦିଆଯାଉଥିଲା । ଆଲୋକର ଦୁଇପଥ ଏହିପରି ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଫଳରେ ସେମାନଙ୍କର କାର୍ଯ୍ୟ ପରସ୍ପର ମଧ୍ୟରେ ବଦଳାଉଥିବାରୁ ଫ୍ରିଞ୍ଜ ଦୁଇଗୁଣ ଘୁଞ୍ଚିବା ଉଚିତ । ରଶ୍ମିକୁ ଆଗପଛ କରି ବହୁବାର ପ୍ରତିଫଳନ କରିବାଦ୍ୱାରା କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ଦୈର୍ଘ୍ୟକୁ 11 *m.* ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ବଢ଼ାଇ ଦିଆଯାଇଥିଲା । ତେବେ ମଧ୍ୟ, ପ୍ରାୟ 5.9×10^{-5} *cm.* ତରଙ୍ଗ ନେଇ

ଯଦି V ପାଇଁ ପୃଥିବୀର ସମସ୍ତ କକ୍ଷୀୟ ଗତିବେଗ ନିଆଯାଏ ଅର୍ଥାତ୍ $\frac{v}{c}=10^{-4}$ ନିଆ-

ଯାଏ, ତେବେ ବିସ୍ଥାପନ ମାତ୍ର

$$N=2\times10^{-8}\frac{11\times10^{2}}{5{\cdot}9\times10^{-5}}=0{\cdot}37 \text{ ଫ୍ରିଞ୍ଜ ହେବ ।}$$

ମାଇକେଲସନ୍ ଓ ମର୍ଲେ ନିଶ୍ଚିତ ଭାବରେ ଜାଣିଥିଲେ ଯେ, ସେମାନେ ଗୋଟିଏ ଫ୍ରିଞ୍ଜର ଏକ ଶତାଂଶ ବିସ୍ଥାପନ ଜାଣି ପାରିବେ । କିନ୍ତୁ ଯେଉଁ ବିସ୍ଥାପନ ଦେଖାଗଲା, ତାହା ତାତ୍ତ୍ୱିକ ଆଲୋଚନାରୁ ମିଳୁଥିବା ମୂଲ୍ୟର ଅତି କ୍ଷୁଦ୍ର ଅଂଶ ଥିଲା ଏବଂ ତା ମଧ୍ୟ ସଙ୍ଗତ ନ ଥିଲା । ତେଣୁ ପରୀକ୍ଷାର ଫଳ ନାସ୍ତିସୂଚକ ଥିଲା; ଇଥର ମଧ୍ୟରେ ଗତି କଲେ ଆଶା କରାଯାଉଥିବା ଫଳାଫଳ ଦେଖାଗଲା ନାହିଁ ।

ହୁଏତ ହୋଇପାରେ ଯେ, କୌଣସି ମୁହୂର୍ତ୍ତରେ ଦୈବାତ୍ ପୃଥିବୀର, ଗତିବେଗର କୌଣସି ସଂଯୋଜକ ତାର ପୃଷ୍ଠତଳ ସହିତ ସମାନ୍ତର ଭାବରେ ନାହିଁ । କାରଣ ଏହାର କକ୍ଷୀୟ ଗତି ସହିତ ସାରା ସୌରଜଗତର ଇଥର ମଧ୍ୟରେ ଗତିବେଗ ମିଶି ଏପରି ଅବସ୍ଥା ସୃଷ୍ଟି ହୋଇପାରେ । କିନ୍ତୁ ଯଦି କୌଣସି ସମୟରେ ଏପରି ଘଟେ, ତେବେ ଏହାର ୬ ମାସ ପରେ ପୃଥିବୀର ସୂର୍ଯ୍ୟ ଚାରିପଟେ ଗତିବେଗ ଓଲଟିଯିବ, ତେଣୁ ଇଥର ମଧ୍ୟରେ ଏହାର ଗତିବେଗ, ଏହାର କକ୍ଷୀୟ ଗତିବେଗର ଦୁଇଗୁଣ ହେବ ।

ମାଇକେଲସନଙ୍କ ପ୍ରଣାଳୀରେ ଦିନର ବିଭିନ୍ନ ସମୟରେ ଓ ବର୍ଷର ବିଭିନ୍ନ ଋତୁରେ ପରୀକ୍ଷା କଲେ ପୃଥିବୀର ବିଭିନ୍ନ ଅଂଶରେ ବିଜ୍ଞାନୀମାନେ ସେହି ନାସ୍ତିସୂଚକ ଫଳ ପାଇଲେ । ୧୯୩୦ରେ ଜର୍ମାନୀରେ ଜୁସ୍ ଯେଉଁ ବ୍ୟତିକରଣମାପକ ବ୍ୟବହାର କଲେ, ତା ସାହାଯ୍ୟରେ ପୃଥିବୀର କକ୍ଷୀୟ ଗତିବେଗର ଏକ ବିଂଶାଂଶ ଇଥର ବିସ୍ଥାପନ ଜଣାଯାଇ ପାରନ୍ତା । ସେ ଯନ୍ତ୍ରରେ ମାପ କରି ମଧ୍ୟ ସେ ଏପରି ଗତିର କୌଣସି ପ୍ରମାଣ ପାଇଲେ ନାହିଁ । ୧୯୫୮ରେ ସେଡ଼ାରହୋମ୍ ଓ ଟାଉନ୍‌ସ ମେସର୍ ବ୍ୟବହାର କରି ଏକ ନୂତନ ଉପାୟ ଅବଲମ୍ବନ କଲେ । ଏହାର ସାହାଯ୍ୟରେ କକ୍ଷୀୟ ଗତିବେଗର ଏକ ସହସ୍ରାଂଶ ଲକ୍ଷ୍ୟ କରାଯାଇପାରନ୍ତା, କିନ୍ତୁ କୌଣସି ବିସ୍ଥାପନର ପ୍ରମାଣ ମିଳିଲା ନାହିଁ ।

ପୃଥିବୀର ଈଥର ମଧ୍ୟରେ ଆଶା କରାଯାଉଥିବା ଗତି ଜାଣିବାରେ ପରୀକ୍ଷାର ଗୋଟିଏ ପ୍ରଧାନ ପରୀକ୍ଷା ଲବ୍ଧ ଫଳ। ସେତେବେଳେ ଆଲୋକ ଓ ବସ୍ତୁ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଯେଉଁ ତତ୍ତ୍ୱ ଥିଲା, ତା ସହିତ ମେଳକରି ଏହାକୁ ବୁଝିବା ଅତି କଷ୍ଟକର। ତାତ୍ତ୍ୱିକ ଦୃଷ୍ଟିଭାବ ବିଶେଷ ଭାବରେ ସରଳ ମୂଳଦୂଆ ଉପରେ ରହିଥିଲା—କାରଣ ଆଲୋକର କେବଳ ଗୋଟିଏ ଗୁଣ ଏଥିରେ ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇଥିଲା ଅର୍ଥାତ୍ ସ୍ଥାନରେ ଆଲୋକରେ ଗତିବେଗ ଧ୍ରୁବ ଓ ଗ୍ୟାଲିଲିଓଙ୍କ ନିୟମହିଁ ଏଥିରେ ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇଥିଲା। ପୁରାତନ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନ ଅନୁସାରେ, ଏହି ନାସ୍ତିସୂଚକ ଫଳାଫଳର ତିନୋଟି ସାମ୍ଭାବ୍ୟ ଯୁକ୍ତି ଆପେ ଆପେ ମିଳିଯାଏ।

୧। ବୋଧହୁଏ ପୃଥିବୀ ଈଥରକୁ ତା ସହିତ ଟାଣୁଛି, ଠିକ୍ ଯେପରି ଗୋଟିଏ ବେସ୍‌ବଲ୍ ତାପାଖରେ ଥିବା ପବନକୁ ଟାଣିନିଏ। ଏ ଅନୁମାନ ଅନୁସାରେ ଈଥର ମଧ୍ୟରେ ପୃଥିବୀର କେବେ ହେଲେ ଗତି ହେବନାହିଁ ଏବଂ କୌଣସି ଅସୁବିଧା କଥା ଉଠିବନାହିଁ। ଗୋଟିଏ ଆପତ୍ତି ଏହା ବିରୁଦ୍ଧରେ ଉଠିବ, ପୃଥିବୀଠାରୁ ଦୂରକୁ ରହିଥିବା ଈଥର ତୁଳନାରେ ଏହାକୁ ଲାଗି ରହିଥିବା ଈଥର ଗତିଶୀଳ ହେବ, ଈଥରର ବିଭିନ୍ନ ଅଂଶ ମଧ୍ୟରେ ଏପରି ଗତିର ବିଭିନ୍ନତା ଫଳରେ ତାରକାମାନଙ୍କଠାରୁ ଆସୁଥିବା ଆଲୋକ ବାଙ୍କିଯିବ, ଠିକ୍ ଯେପରି ବାୟୁଦ୍ୱାରା ଶବ୍ଦ ତରଙ୍ଗ ବାଙ୍କିଯାଏ। ଏହିପରି ବାଙ୍କିଯିବା ଦ୍ୱାରା ଜ୍ୟୋତିଷ୍କମାନଙ୍କର ବିପଥନର ପରିମାଣରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହେବ। ଈଥରର ଗୋଟିଏ ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ଗତି କଳ୍ପନା କରି ପରୀକ୍ଷା ଲବ୍ଧ ଫଳ ସହିତ ତାତ୍ତ୍ୱିକ ଦୃଷ୍ଟିରୁ ମିଳୁଥିବା ବିପଥନ ମିଳାଇବା ଓ ତାସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ମାଇକେଲସନ୍ ଓ ମର୍ଲେ ପରୀକ୍ଷାରେ ମିଳୁଥିବା ନାସ୍ତିସୂଚକ ଫଳକୁ ଗ୍ରହଣ କରିବା କଷ୍ଟକର ମନେ ହେଲା। ଗୋଟିଏ ଦ୍ୱିତୀୟ ଆପତ୍ତି ହେଲା ଯେ, ଲରେଞ୍ଜଙ୍କ ଆକାରର ଗୋଟିଏ ସ୍ୱଚ୍ଛ ପଦାର୍ଥ ଆଲୋକ ତରଙ୍ଗଗୁଡ଼ିକୁ ଗତିଶୀଳ ପଦାର୍ଥର ପୂର୍ଣ୍ଣ ଗତି ବେଗରେ ଟାଣେନାହିଁ, ଯଦି ଏହା ଈଥରକୁ ପୂର୍ଣ୍ଣଭାବରେ ନିଜେ ସହିତ ଟାଣନ୍ତା ତେବେ ନିଶ୍ଚୟ ଆଲୋକ-ତରଙ୍ଗଗୁଡ଼ିକୁ ଟାଣିଥାନ୍ତା; ପରୀକ୍ଷାରୁ ମିଳୁଥିବା ଆଂଶିକ ବିସ୍ଥାପନ ଠିକ୍ ଭାବରେ ବୁଝାଯାଇପାରୁଛି।

୨। ଏକ ବିକଳ୍ପ ଭାବରେ, ଆମେ ଅନୁମାନ କରିବା ଯେ ଗୋଟିଏ ଗତିଶୀଳ ଉତ୍ସରୁ ବାହାରୁଥିବା ଆଲୋକ, ତା'ର ନିଜର ପ୍ରାକୃତିକ ଗତିବେଗ ସହିତ ଉତ୍ସର ଗତି-

ବେଗ ଯୋଗ କରିଥାଏ, ଠିକ୍ ଯେପରି ଗୋଟିଏ ଗତିଶୀଳ ଜାହାଜରୁ ଫିଙ୍ଗା ଯାଇଥିବା ଗୋଟିଏ କ୍ଷେପଣାସ୍ତ୍ରର ଗତିବେଗ ବନ୍ଧୁକରୁ ଏହା ଫିଙ୍ଗା ହୋଇଥିବା ଗତିବେଗ ଓ ଜାହାଜର ଗତିବେଗର ଯୋଗଫଳ । ଯଦି ଏହା ସତ୍ୟ ହୁଏ, ମାଇକେଲସନ ଓ ମର୍ଲେ ପାଇଥିବା ନାସ୍ତିସୂଚକ ଫଳ ହଠାତ୍ ବୁଝାପଡ଼ିଯିବ, କାରଣ ତାଙ୍କର ଲ୍ୟାମ୍ପରୁ ବାହାରି ଥିବା ଆଲୋକର ଗତିବେଗ ସର୍ବଦା ଲ୍ୟାମ୍ପ ଓ ବ୍ୟତିକରଣମାପକ ତୁଳନାରେ ଧ୍ରୁବ ରହିବ । ତେବେ, ଏପରି ଏକ କଳ୍ପନା, ଆଲୋକର ତରଙ୍ଗବାଦ ସହିତ ମୂଳରୁ ଦ୍ୱନ୍ଦ୍ୱ ସୃଷ୍ଟି କରିବ । ଗୋଟିଏ ମାଧ୍ୟମରେ ଗୋଟିଏ ତରଙ୍ଗର ମୂଳକଥା ହେଲା, ମାଧ୍ୟମ ତୁଳନାରେ ତରଙ୍ଗର ଏକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଗତିବେଗ, ଠିକ ଯେପରି ପବନ ତୁଳନାରେ ଧ୍ୱନି ତରଙ୍ଗର ଏକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଗତିବେଗ ଥାଏ । ଆହୁ ମଧ୍ୟ, ଏଠାରେ ଥିବା କଳ୍ପନାର ବିରୁଦ୍ଧାଚରଣ କରୁଥିବା ପରୀକ୍ଷା ଲବ୍ଧ ପ୍ରମାଣ ଅଛି, ଏହା ବର୍ଣ୍ଣନା କରିବାପାଇଁ ଆମର ସ୍ଥାନ ନାହିଁ ।

୩ । ତୃତୀୟ ସାମ୍ଭବ୍ୟ ଯୁକ୍ତି ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଭାବରେ ଫିଜ୍‌ଗେରାଲ୍‌ଡ ଓ ଲରେଞ୍ଜ ବାଢ଼ିଥିଲେ । ଇଥର ମଧ୍ୟଦେଇ ଗତି କରିବା ଫଳରେ ବ୍ୟତିକରଣମାପକ ଗତି ଦିଗରେ ସମାନ୍ତର ଭାବରେ ଛୋଟ ହୋଇଯାଏ । ଯଦି ସଂକୋଚନ $\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}$ ଅନୁପାତରେ ହେଲେ ଆଲୋକର ପଥଗୁଡ଼ିକ ସମାନ ହୋଇଥାଏ ଓ ସେହି କାରଣରୁ ଫ୍ରିଞ୍ଜର ବିସ୍ଥାପନ ହୁଏନାହିଁ । ଏହି ବିଚାରଧାରା ଯଥେଷ୍ଟ ନୁହେଁ ବୋଲି ୧୯୩୨ ମସିହାରେ କେନେଡ଼ି ଓ ଥର୍ଣ୍ଡାଇକ ଦେଖାଇଥିଲେ ସେମାନେ ବ୍ୟତିକରଣମାପକ ଦୁଇ ବାହୁର ଦୈର୍ଘ୍ୟକୁ ବହୁ ପରିମାଣରେ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ କରି ମଧ୍ୟ ଫ୍ରିଞ୍ଜରେ କୌଣସି ବିସ୍ଥାପନ ଦେଖିଲେ ନାହିଁ ।

2.5 ଆଇନଷ୍ଟାଇନଙ୍କର ନୂତନ ଆପେକ୍ଷିକବାଦ :

ବର୍ତ୍ତମାନ ବର୍ଣ୍ଣନା କରାଯାଇଥିବା ଅବସ୍ଥାରୁ ଯେ କେହି ସହଜରେ ବୁଝିପାରିବ ଯେ, ସତେ ଯେପରି ପ୍ରକୃତିରେ କ'ଣ ଗୋଟାଏ ଷଡ଼ଯନ୍ତ୍ର ଅଛି—ସେ ଆମକୁ ଇଥର ମଧ୍ୟରେ କୌଣସି ଗତି ଜାଣିବାକୁ ସୁବିଧା ଦେବନାହିଁ । ସେହିପରି ଏକ ଅବସ୍ଥା ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକରେ ଓ ଆଲୋକରେ ଅଛି ବୋଲି ସହଜରେ ଦେଖାଇ ହେବ । ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଓ ଚୁମ୍ବକୀୟ ପରୀକ୍ଷା ଉଦ୍ଭାବନ କରାଯାଇପାରିବ, ଯେଉଁଥିରେ କି ଦେଖିଲାକ୍ଷଣି

ଇଥରରେ ଗତି ବାରିହେବା ପରି ମନେ ହେବ; କିନ୍ତୁ ସବୁବେଳେ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ପ୍ରଭାବ ଏହି ପ୍ରଭାବକୁ ବିଲୋପ କରିଦେବ ।

ଏହି ଅସ୍ୱାଭାବିକ ପରିସ୍ଥିତି ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଅନୁଧ୍ୟାନ କରି ୧୯୦୫ ମସିହାରେ ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନ ମୂଳତଃ ଏକ ନୂତନ ଧାରଣାରେ ପହଞ୍ଚିଲେ । ସେ ପ୍ରସ୍ତାବ ଦେଲେ ଯେ, ଶୂନ୍ୟ ସ୍ଥାନକୁ ପୂର୍ଣ୍ଣ କରି ରହିଥିବା ଇଥର ମଧ୍ୟରେ ଗତି ଗୋଟିଏ ଅର୍ଥହୀନ କଳ୍ପନା; କେବଳ ବାସ୍ତବ ପଦାର୍ଥ-ମାନଙ୍କର ଅନୁପାତରେ ଗତିର ଭୌତିକ ମୂଲ୍ୟ ରହିଅଛି । ତାପରେ ସେ ଏହି କଳ୍ପନା ଉପରେ ଆଲୋକ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ଜ୍ଞାତ ନିୟମଗୁଡ଼ିକ ସହିତ ଖାପ ଖାଇବ, ସେଥିପାଇଁ ଚେଷ୍ଟା କଲେ । ଆଲୋକର ଗତି ବେଗକୁ ନେଇ ଯେଉଁ ଯୁକ୍ତି କଲେ, ସେଥିରେ ବାଦାନୁବାଦ ସମ୍ଭାବନା ଅଛି । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ S' ନିର୍ଦ୍ଦେଶନ ଫ୍ରେମ କଥା ବିଚାର କର (କହି, ଏହା ପୃଥିବୀରେ), ଏହା ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ଫ୍ରେମ୍ S (କହି, ଏହା ସୂର୍ଯ୍ୟରେ) ତୁଳନାରେ ଗତି କରୁଛି । ମନେକର S' ରେ ଗୋଟିଏ ଆଲୋକ ଉତ୍ସ ଅଛି । ତେବେ, ଏହି ଉତ୍ସରୁ ଆଲୋକ ଯେଉଁ ଗତିବେଗରେ ଯିବ, Sରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ ଉତ୍ସରୁ ମଧ୍ୟ ସେହି ଗତି-ବେଗରେ ଯିବ, କାରଣ (ଆଗରୁ କୁହାଯାଇଅଛି) ଆମେ ମନେକରି ପାରିବା ନାହିଁ ଯେ, ଆଲୋକର ଗତି ବେଗ ଉତ୍ସର ଗତିବେଗ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରଭାବିତ ହୁଏ । କିନ୍ତୁ ସେହି ଆଲୋକ S' ତୁଳନାରେ ସେହି ବେଗରେ ଗତି କରିବ, ନଚେତ୍ ପ୍ରକୃତିର ନିୟମ ସବୁ S ଓ S'ରେ ସମାନ ହେବନାହିଁ ଓ ସେଗୁଡ଼ିକ ଭିନ୍ନ ହେବାପାଇଁ କୌଣସି ଯୁକ୍ତି ଦିଆଯାଇପାରିବନାହିଁ । କିନ୍ତୁ ଦୁଇଟି ଫ୍ରେମ୍ ପ୍ରତ୍ୟେକ ପରସ୍ପର ତୁଳନାରେ ଗତିଶୀଳ ଥିଲବେଳେ ଆଲୋକ ଏକା ଗତିବେଗରେ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଅସମ୍ଭବ ମନେ ହେଉଅଛି ।

ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନ ଏହିପରି ଆଲୋକର ସଞ୍ଚାରଣକୁ ବିଶ୍ୱର ସମ୍ମୁଖରେ ରଖିଲେ । ସେ ତାଙ୍କର ତତ୍ତ୍ୱକୁ ଦୁଇଟି ଅନୁମାନ ଉପରେ ପ୍ରତିଷ୍ଠା କରିଥିଲେ । ତାଙ୍କର ଏହି ତତ୍ତ୍ୱକୁ ବିଶେଷ ବା ସୀମାବଦ୍ଧ ଅପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱ କୁହାଯାଏ । ତାଙ୍କର ଅନୁମାନ ଦୁଇଟି ହେଲା,

୧ । ଦୁଇଟିରୁ ଯେକୌଣସି ନିଶ୍ଚେଷ୍ଟ ନିର୍ଦ୍ଦେଶନ ଫ୍ରେମ୍‌ରେ ପ୍ରକାଶ କରାଗଲେ ମଧ୍ୟ ଭୌତିକ ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକର ନିୟମ ସବୁ ଏକା (ଏଥିରେ ଇଥର ମଧ୍ୟରେ ଗତି ବିଷୟ ରହିବ ନାହିଁ); କୌଣସି ପରୀକ୍ଷାଦ୍ୱାରା ଗୋଟିଏ ଫ୍ରେମ୍ ପରମ ସ୍ଥିର ଅଛି ବୋଲି ପ୍ରତିଷ୍ଠା କରାଯାଇପାରିବ ନାହିଁ ।

୨। ଆଲୋକର ଗତିବେଗ ଏହାର ଉତ୍ସର ଗତି ଉପରେ ନିର୍ଭରଶୀଳ ନୁହେଁ ଏବଂ ସମସ୍ତ ନିର୍ଦ୍ଦେଷ୍ଟ ଫ୍ରେମ୍‌ରେ ଥିବା ଦର୍ଶକ ପାଇଁ ଏହା ଏକ ମୂଲ୍ୟ ଦେଇଥାଏ।

ଏହି ଦୁଇଗୋଟି ଅନୁମାନରୁ, ଦ୍ୱିତୀୟଟି ଗୋଟିଏ ପରୀକ୍ଷିତ ତଥ୍ୟ ପ୍ରକାଶ କରୁଛି ବୋଲି ବିଶ୍ୱାସ କରାଯାଏ। କିନ୍ତୁ ପ୍ରଥମଟି ବିଧିଗୁଡ଼ିକ ଭୌତିକ ଅନୁଭବର ବ୍ୟାପକ ପ୍ରକାଶ। ପ୍ରଥମ ଅନୁମାନଟି କୌଣସିମତେ ସ୍ୱତଃସିଦ୍ଧ ନୁହେଁ; ଯେକୌଣସି ଭୌତିକତତ୍ତ୍ୱରେ ନିଆଯାଇଥିବା ଅନୁମାନ ପରି ଏହାକୁ ପରୀକ୍ଷାଦ୍ୱାରା ପ୍ରତିପାଦନ କରିବାକୁ ହେବ। ଆଉ ମଧ୍ୟ, ପୁରାତନ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନରେ କେତେଗୁଡ଼ିଏ ଅତି ଦୃଢ଼ଭାବରେ ପ୍ରତିପାଦିତ ହେବାପରି ମନେ ହେଉଥିବା ତତ୍ତ୍ୱ, ଯଥା—ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମ, ପ୍ରଥମ ଅନୁମାନର ଆବଶ୍ୟକତାକୁ ସନ୍ତୁଷ୍ଟ କରୁନାହିଁ। ପ୍ରକୃତରେ, ନିଉଟନଙ୍କର ଗତି ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ଦ୍ୱିତୀୟ ନିୟମ ସାଧାରଣରେ ବ୍ୟବହୃତ ଆକାରରେ ଗ୍ରହଣୀୟ ନୁହେଁ ବୋଲି ପ୍ରମାଣିତ ହେଉଛି (ଦେଖ ଅନୁ: ୩.୩)

2·6 ଯୁଗପତତ୍ତ୍ୱ ଓ ସମୟକ୍ରମ :

ନିଉଟନଙ୍କ ପରମ ସମୟ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଧାରଣା ପରିତ୍ୟାଗ କରିବାଦ୍ୱାରା ଏହି ଦୁଇ ଅନୁମାନ ମଧ୍ୟରେ ସମନ୍ୱୟ ଆଣିବାର ସୂତ୍ରକାଠି ଆଇନଷ୍ଟାଇନ ବାହାର କରିଥିଲେ। ନିଉଟନ ଅନୁମାନ କରିଥିଲେ ଯେ, ଦୁଇଟି ଘଟଣା ଯୁଗପତ୍ ଭାବରେ ଘଟୁଛି ନା ସେଥିରୁ କେଉଁଟି କାହା ଆଗରୁ ଘଟୁଛି, ତାହା ନିର୍ଭୁଲଭାବେ କହିବା ସବୁବେଳେ ସମ୍ଭବ। କିନ୍ତୁ ଯଦି ଦୁଇଟି ବସ୍ତୁ ପରୋକ୍ଷରେ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ପରିସ୍ଥିତିରେ ଘଟେ, ତାହା କିପରି କରାଯାଇ ପାରିବ ?

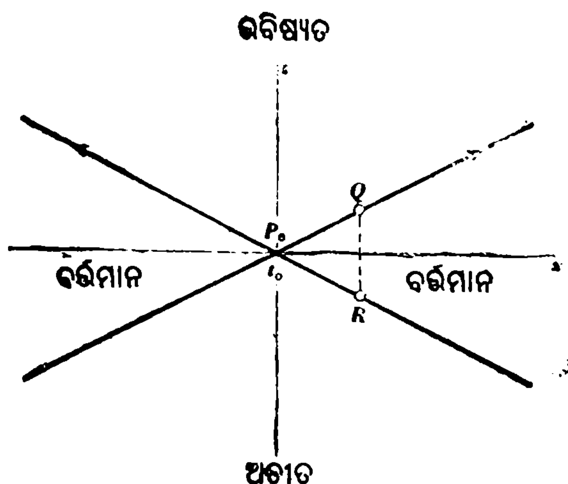
କାର୍ଯ୍ୟତଃ, ଦୁଇଟି ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ସ୍ଥାନର ସମୟ ମଧ୍ୟରେ ତୁଳନା ସେହି ସେହି ସ୍ଥାନରେ ଥିବା ଘଣ୍ଟା ଦେଖି କରାଯାଇଥାଏ, ଏ ଦୁଇଘଣ୍ଟାକୁ ମିଳାଇ ନେବା ଦରକାର; ଆଧୁନିକ ଯୁଗର ଚଳଣି ଅନୁସାରେ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ତରଙ୍ଗଦ୍ୱାରା ଏହା କରାଯାଇଥାଏ। ତେବେ, ସୂକ୍ଷ୍ମତା ଦୃଷ୍ଟିରୁ ଗୋଟିଏ ସ୍ଥାନରୁ ଆଲୋକ ଅନ୍ୟ ସ୍ଥାନରେ ପହଞ୍ଚିବାପାଇଁ ଯେତେ ସମୟ ଲାଗେ, ସେଥିପାଇଁ ସଂଶୋଧନ କରିବା ଦରକାର। ଏହି ସଂଶୋଧନ କରିବାପାଇଁ ଗୋଟିଏ ଦିଗରେ ଆଲୋକର ବେଗ କେତେ ଜାଣିବା ଦରକାର। ଆଲୋକର ଗତିବେଗ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ସାଧାରଣ ପରିମାପ ଦୁଇ ବିପରୀତ ଦିଗରେ ଏହାର ହାରାହାରି ଗତିବେଗ ହିଁ ଦେଇଥାଏ। ଯଦି ଆମେ ଆଗରୁ ଆମର ଘଣ୍ଟା ଠିକ୍ କରି ନେଇଥିବା, ତେବେ ଏହାର ଗତି, ଗୋଟିଏ

ଢଙ୍ଗରେ ଆମେ ଅବଶ୍ୟ ମାପ କରିପାରିବା । କିନ୍ତୁ ଏହା ଆମକୁ ଗୋଟିଏ ପ୍ରହେଳିକାମୟ ଚକ୍ରିକାରେ ପକାଇ ଦେବ ।

ଏକ ବିକଳ୍ପ ବ୍ୟବସ୍ଥା ଭାବରେ, ଆମେ ଗୋଟିଏ କ୍ରୋନୋମିଟର ଗୋଟିଏ ସ୍ଥାନରୁ ଅନ୍ୟ ସ୍ଥାନକୁ ନେବା ଓ କ୍ରୋନୋମିଟର ସହ ମିଳାଇ ଦୁଇଘଣ୍ଟାକୁ ଠିକ୍ କରିନେବା । କିନ୍ତୁ କ୍ରୋନୋମିଟରଟି ଯେ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ଢଙ୍ଗରେ ଗତି କଲେ ଏକ ଧ୍ରୁବଗତିରେ ଚାଲେ ଏହା ଆମେ କିପରି ପ୍ରମାଣ କରିବା ? ଏହାକୁ ପ୍ରମାଣ କରିବାପାଇଁ ବା ଆଲୋକର ଗତିବେଗ ଗୋଟିଏ ଢଙ୍ଗରେ ସ୍ଥିର କରିବାପାଇଁ ଯେତେ ପ୍ରଣାଳୀ କିଆଗଲା, ସବୁ ଆଉ ଗୋଟିଏ ନୂଆ ଅନୁମାନ ଉପରେ ନିର୍ଭର କଲା ଏବଂ ଏହି ନୂଆ ଅନୁମାନକୁ ପ୍ରଥମ କରି ପରୀକ୍ଷା କରି ସ୍ଥିର କରାଯାଇ ପାରିଲାନାହିଁ । ଏଥିରୁ ଜଣାଗଲା ଯେ, କୌଣସି ପ୍ରକାରର କୃତ୍ରିମ ବ୍ୟବହୃତ ଧାରଣାର ଅବଲମ୍ବନରେ ଗୋଟିଏ ସାଧାରଣ ସମୟ ସ୍କେଲ ଦିଆଯାଇପାରିବ । ଏଥିରୁ ଅତି ସରଳଟି ହେଲା ଯେଉଁଟି ସାଧାରଣ ଭାବରେ ବ୍ୟବହୃତ ହୁଏ ଅର୍ଥାତ୍ ଆଲୋକର ଗତିବେଗ ଗୋଟିଏ ଢଙ୍ଗରେ ଯେତିକି ତା'ର ବିପରୀତ ଢଙ୍ଗରେ ସେତିକି ବୋଲି ଅନୁମାନ କରିବା । ତେବେ, ଆମେ ଦେଖିବା ଯେ, ଏହି ନୀତି ଉପରେ ଗଢ଼ା ଯାଇଥିବା ସମୟ-ସ୍କେଲ ଗତିବେଗ ମାପ କରିବା ପାଇଁ ବ୍ୟବହୃତ ନିର୍ଦ୍ଦେଶକ ଫ୍ରେମ ଅନୁସାରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇଥାଏ, ଏପରିକି କେତେକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଦୁଇଟି ଘଟଣାର କ୍ରମରେ ମଧ୍ୟ ପ୍ରଭେଦ ହୋଇପାରେ ।

ଗାଣିତିକ ତତ୍ତ୍ୱ ଆହୁରି ଅଧିକ ଆଲୋଚନା କରିବା ପୂର୍ବରୁ ନିମ୍ନଲିଖିତ ଅନ୍ୟ ବିଷୟଗୁଡ଼ିକ ଜାଣିବା ଆବଶ୍ୟକ ହୋଇପାରେ । ଗୋଟିଏ ସରଳ ପଥରେ ବିଭିନ୍ନ ସ୍ଥାନରେ ଘଟୁଥିବା ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକ ବିଚାର କରାଯାଉ; ତେଣୁ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକୁ ଦ୍ୱିବିମିତିକ ସ୍ଥାନରେ ଚିତ୍ରରେ ପ୍ରକାଶ କରିହେବ । ଗୋଟିଏ ଗ୍ରାଫରେ (ଚିତ୍ର ୨·୫) ଆନୁଭୂମିକ ଦୂରତାଗୁଡ଼ିକ ପଥରେ ବିସ୍ଥାପନ ବୁଝାଉ ଓ ଅଭିଲମ୍ବ ଦୂରତାଗୁଡ଼ିକ ଅତିବାହିତ ସମୟ ବୁଝାଉ । P_0 ଠାରେ t_0 ସମୟରେ ଜଣେ ଦର୍ଶକଙ୍କ କଥା ବିଚାର କରିବା । P_0 ମଧ୍ୟଦେଇ ଦୁଇଟି ରେଖାଟାଣ, ଏମାନେ P_0 ମଧ୍ୟଦେଇ ଗତିପଥରେ t_0 ସମୟରେ ଦୁଇ ବିପରୀତ ଢଙ୍ଗରେ ଯାଉଥିବା ଦୁଇଟି ଆଲୋକ ସଙ୍କେତ ବୁଝାଉ । ତେବେ ଚିତ୍ରରେ ଏହି ଦୁଇ ରେଖାର ଉପରକୁ ଥିବା କ୍ଷେତ୍ରରେ ବିନ୍ଦୁଗୁଡ଼ିକ t_0 ସମୟରେ P_0 ଠାରେ ଥିବା କୌଣସି ଦର୍ଶକ ପାଇଁ ନିଶ୍ଚିତ ଭବିଷ୍ୟତକୁ ସୂଚାଇଲ । ଏହି ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକ ଘଟିବାପାଇଁ ଏତେ ସମୟ ଅଛି ଯେ,

ଦର୍ଶକଙ୍କର ଏହି ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକୁ ପ୍ରଭାବିତ କରିବାର ସୁବିଧା ରହିଅଛି । ଅନ୍ୟପକ୍ଷରେ ଉଭୟ ରେଖା ତଳେ, ଦର୍ଶକଙ୍କର ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଅତୀତ ରହିଅଛି । ଏହି କ୍ଷେତ୍ର ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ବିନ୍ଦୁଗୁଡ଼ିକ ପଥ ମଧ୍ୟରେ t_0 ସମୟର ପାଖାପାଖି ଘଟିଥିବା ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକୁ ପ୍ରଭାବିତ କରିପାରିଥିବା ଘଟଣାବଳୀ ସୂଚିତ କରୁଛି । ଏହି ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ରେଡ଼ିଓ ସଙ୍କେତ ଦ୍ୱାରା ସେତେବେଳକୁ ସେ ଖବର ପାଇ ସାରିଥିବେ । ତେବେ, ରେଖାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ତୃତୀୟ ଅଞ୍ଚଳ ମଧ୍ୟ ରହିଅଛି—ଏହା ଦର୍ଶକର ଭୌତିକ ବର୍ତ୍ତମାନକୁ ସୂଚିତ କରିଥାଏ । t_0 ସମୟରେ ଏହି ଅଞ୍ଚଳରେ ଥିବା ବିନ୍ଦୁଗୁଡ଼ିକ ଦ୍ୱାରା ସୂଚିତ ଘଟଣାବଳୀକୁ ପ୍ରଭାବିତ କରିବା ପାଇଁ ତାଙ୍କ ପକ୍ଷେ ବହୁତ ଡେରି ହୋଇଯାଇଅଛି, ଆଉ ଏଗୁଡ଼ିକ ସମ୍ବନ୍ଧରେ କୌଣସି ଜ୍ଞାନ ହାସଲ କରିବାପାଇଁ ଏହା ଅତି ଚଞ୍ଚଳ ହୋଇଯାଇଅଛି । ପଥ ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ଦତ୍ତ ବିନ୍ଦୁରେ ଥିବା ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ ଦର୍ଶକର ଭୌତିକ ବର୍ତ୍ତମାନ ଗୋଟିଏ ସମୟ ପରିସର ବୁଝାଇଥାଏ, ଯଥା—QR, P_0 ଠାରୁ ବିନ୍ଦୁର ଦୂରତା ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଏହି ପରିସର ବଢ଼ିଯାଇଥାଏ । ଯଦି ଦର୍ଶକ ନିଉୟର୍କଠାରେ ଥାଏ, ଏହି ପରିସର ସାନଫ୍ରାନ୍‌ସିସ୍କୋରେ ଘଟିଥିବା ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ ପ୍ରାୟ $\frac{1}{30}$ ସେକେଣ୍ଡ



[ଚିତ୍ର ୨.୫ ସ୍ଥାନ ଓ ସମୟର ବିଭାଗ]

(ଦୁଇ ଗତିପଥ ଅତିକ୍ରମ କରିବାପାଇଁ ଆଲୋକକୁ ଲାଗୁଥିବା ସମୟ), ପୃଥିବୀରେ ଘଟୁଥିବା ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକପାଇଁ ଏହା ପ୍ରାୟ 16 ମିନିଟ ଏଠାରେ ନିଉଟନଙ୍କର ଓ ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନଙ୍କର ଆପେକ୍ଷିକବାଦରେ ଏକ ମୌଳିକ ତାରତମ୍ୟ ଦେଖାଯାଏ, କାରଣ ପୁରାତନ ତତ୍ତ୍ୱରେ ଭୌତିକ ବର୍ତ୍ତମାନ ଗୋଟିଏ ରେଖାରେ ପରିଣତ ହୋଇଯାଏ ।

2·7 ଲରେଞ୍ଜ ରୂପାନ୍ତରଣ :

ଅନ୍ୟ ସବୁ ଭୌତିକ ତତ୍ତ୍ୱ ପରି ଆପେକ୍ଷିକବାଦରୁ ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ ହେଉଥିବା ଫଳଗୁଡ଼ିକ ଯଦି ପରୀକ୍ଷା ଲବ୍‌ଧ ତଥ୍ୟ ସହିତ ମିଳିଯାଏ, ତେବେ ତାହା ଗ୍ରାହ୍ୟ ହେବ, ନଚେତ୍ ଏହା ପରିତ୍ୟକ୍ତ ହେବ । ଆପେକ୍ଷିକବାଦର ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ କରିବା ପାଇଁ ଦୁଇଟି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଫ୍ରେମ୍ ପରସ୍ପର ସହିତ ଆପେକ୍ଷିକ ଗତିରେ ଥିବାବେଳେ କେତେକ ଘଟଣାର ବିବରଣୀର ତୁଳନା କରିବା । ପ୍ରଥମରୁ ସ୍ଥାନ ଓ ସମୟର ପରିମାପ ସବୁ କିପରି ମିଳାଯାଏ (ଏହି ଗୁଡ଼ିକର ଆଲୋଚନା କରିବାପାଇଁ ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଫ୍ରେମ୍‌ରେ ମାପ କରୁଥିବା ଗୋଟିଏ ଦର୍ଶକ କଥା କହିବା । ଏଥିରୁ ବୁଝିବା ଠିକ୍ ନୁହେଁ ଯେ ମନୁଷ୍ୟର ମନ ସହିତ ଆପେକ୍ଷିକବାଦର କୌଣସି ସମ୍ପର୍କ ଅଛି, ଅନ୍ୟ ଭୌତିକ ଚିନ୍ତାଧାରା ମନ ସହିତ ଯେତିକି ସମ୍ପୃକ୍ତ ଏହାର ସମ୍ପର୍କ ମଧ୍ୟ ସେତିକି) ତାହା ବର୍ତ୍ତମାନ ବିଚାର କରି ଦେଖିବା ।

ଆଇନଷ୍ଟାଇନଙ୍କର ଦ୍ୱିତୀୟ ଅନୁମାନ ଦରକାର କରୁଛି ଯେ, ରିକ୍ତ ସ୍ଥାନରେ ଆଲୋକର ବେଗ C ସବୁ ଦିଗରେ ସମାନ ଓ ଯେ କୌଣସି ଫ୍ରେମ୍‌ରେ ଥିବା ଦର୍ଶକ ପାଇଁ ମଧ୍ୟ ଏହା ସମାନ । ତେଣୁ C ଗୋଟିଏ ବିଶ୍ୱବ୍ୟାପକ ଧ୍ରୁବ ।

ଅନୁ: ୨·୧ର S ଓ S' ନିର୍ଦ୍ଦେଷ୍ଟ ଫ୍ରେମ୍‌ମାନଙ୍କ କଥା ବିଚାର କର । $t=o$, $t'=o$ ରେ ଦୁଇ ମୂଳବିନ୍ଦୁ ମିଶି ରହୁ । ଏହି ସାଧାରଣ ମୂଳବିନ୍ଦୁରୁ ସେହି ସମୟରେ ଗୋଟିଏ ଆଲୋକ ସ୍ଫୁଲିଙ୍ଗ ବାହାରୁ । ଉତ୍ସରୁ ବାହାରକୁ ସ୍ଫୁଲିଙ୍ଗଟି ଗଲାବେଳେ S ଓ S' ରେ ଥିବା ଦର୍ଶକମାନେ ଏହାର ଅନୁସରଣ କରିବାପାଇଁ ଯନ୍ତ୍ରପାତି ବ୍ୟବସ୍ଥା କରି ରଖିଛନ୍ତି । ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନଙ୍କର ଦ୍ୱିତୀୟ ଅନୁମାନ ଫଳରେ S ଫ୍ରେମରେ ଦର୍ଶକ o ଓ S' ଫ୍ରେମ୍‌ରେ ଦର୍ଶକ o' ତରଙ୍ଗ ସମ୍ମୁଖର ଗତିପଥ ଯଥାକ୍ରମେ ନିମ୍ନମତେ ପ୍ରକାଶିତ ହେବାର ଦେଖିବେ,

$$x^2+y^2+z^2-c^2t^2=0 \qquad (2.2କ$$

$$x'^2 + y'^2 + z'^2 - c^2 t'^2 = 0 \qquad (2.2ଖ)$$

ତେଣୁ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଦର୍ଶକ ଢେଉର ସମ୍ମୁଖଭାଗକୁ ତା'ର ନିଜର ମୂଳବିନ୍ଦୁକୁ କେନ୍ଦ୍ରକରି ଗୋଲାକାରରେ ଦେଖିବ; ଏତେବେଳେ ଦୁଇ ଫ୍ରେମର ମୂଳବିନ୍ଦୁ ଆଉ ମିଳିତ ହୋଇ ରହୁନାହିଁ ।

ସମୀକରଣ (୨'୨ଖ)ରେ ଗାଲିଲିଅ ରୂପାନ୍ତରଣକୁ ସିଧାସଳଖ ବସାଇଦେଲେ ମିଳିବ, $x^2 - 2xVt + V^2t^2 + y^2 + z^2 - c^2t^2 = 0$ । ଏହା କିନ୍ତୁ ଡଣ୍ଡବରେ ସମୀକରଣ (୨'୨ଖ) ସହିତ ମିଶୁନାହିଁ । $y = y'$ ଓ $z = z$ ସମୀକରଣଗୁଡ଼ିକ ଏପରି ଅମେଳର କାରଣ ନୁହେଁ ଓ ଆମେ ପ୍ରମାଣ ନ ଥାଇ ଏହାକୁ ଗ୍ରହଣ କରୁଛୁ, ସ୍ଥାନର ସବୁଠି ସମଗୁଣ ହେବା ଯୁକ୍ତି ସେଗୁଡ଼ିକୁ ଗ୍ରହଣ କରିବାପାଇଁ ଦର୍ଶାଇପାରିବ । ତେଣୁ x', x, t ଓ t ମଧ୍ୟରେ ମେଳ ଖାଇବା ପରି ସମ୍ବନ୍ଧ ପାଇବାପାଇଁ ଆମେ ଚେଷ୍ଟା କରିବା । ଦୁଇମୂଳବିନ୍ଦୁ ମିଳିତ ହୋଇଥିବାବେଳେ $x = x'$ ଓ ସେତେବେଳେ ଆମେ $t = 0 = t'$ ନେଇଥାଉ । ସ୍ଥାନର ସମାଙ୍ଗୀଗୁଣ ଫଳରେ ଓ ସମୟରେ ପ୍ରାକୃତିକ ନିୟମସବୁ ସମାନ ହୋଇଥିବାରୁ ଆମେ ଏ ସମ୍ବନ୍ଧ ସରଳରୈଖିକ ବୋଲି ଅନୁମାନ କରିବୁ ଓ ପରୀକ୍ଷାମୂଳକ ଭବେ ନେବୁ.

$$x' = \alpha x + \eta t \qquad (2.3a)$$

$$t' = \in x + \gamma t \qquad (2.3b)$$

ଏଠାରେ α, η, $\in$ ଓ γ ଉପର୍ଯ୍ୟୁକ୍ତ ଧ୍ରୁବ । S'ର ମୂଳବିନ୍ଦୁରେ $x' = 0$ ଓ $x = Vt$, ତେଣୁ ସମୀକରଣ (2.3a) ଅନୁସାରେ $\alpha Vt + \eta t = 0$ । ସେଥିପାଇଁ $\eta = -\alpha V$ ଓ $x' = \alpha(x - Vt)$. x'ର ଏହି ମୂଲ୍ୟ ଓ ସମୀକରଣ (2.3ଖ) ସମୀକରଣ (2'2ଖ)ରେ ବସାଇଲେ ମିଳିବ,

$$\alpha^2x^2 - 2\alpha^2 Vxt + \alpha^2V^2t^2 + y^2 + z^2 - c^2 \in^2 x^2$$
$$- 2c^2 \in \gamma xt - c^2\gamma^2t^2 = 0.$$

ଏହି ଫଳ ସମୀକରଣ (2'2ଖ) ସହିତ ମିଳିବ କେବଳ ଯଦି

$\alpha^2 - c^2 \in^2 = 1 \quad \alpha^2 V + c^2 \in \gamma = 0$

$c^2\gamma^2 - \alpha^2V^2 = c^2$ ହୁଏ ।

ଏହି ଚାରୋଟି ସମୀକରଣରୁ α, γ ଓ ϵ – ଏ ଚାରୋଟି ଅଜ୍ଞାତ ରାଶି V ଓ c ପଦରେ ସମାହିତ ହୋଇ ପାରିବ । ସେଥିରୁ ମିଳିବ,

$$\alpha = \gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}} \qquad \text{ଓ}$$

$$\epsilon = -\frac{\gamma V}{c^2} = -\frac{V/c^2}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}}$$

ସମସ୍ତ ଧ୍ରୁବ ବର୍ତ୍ତମାନ ନିର୍ଣ୍ଣିତ ହୋଇଗଲେ ଓ ଆମେ ପାଇଲୁ

$$x' = \frac{x - Vt}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}} = \gamma\,(x - Vt)$$

$$y' = y \quad z' = z \qquad \text{ଲରେଞ୍ଜ ରୂପାନ୍ତରଣ (2·4)}$$

$$t' = \frac{t - \frac{Vx}{c^2}}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}} = \gamma\left(t - \frac{Vx}{c^2}\right)$$

ଏହି ସମୀକରଣଗୁଡ଼ିକୁ ପିନାକେର୍ ଲରେଞ୍ଜ ରୂପାନ୍ତରଣ ନାମ ଦେଇଛନ୍ତି । ଏଗୁଡ଼ିକ ୧୮୮୭ ମସିହାରେ ଭଏଟ୍ ଆବିଷ୍କାର କରିଥିଲେ ଓ ୧୯୦୪ ମସିହାରେ ଲରେଞ୍ଜ ବିଦ୍ୟୁତ-ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ବସ୍ତୁର ଗତି ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଆଲୋଚନା କରୁ କରୁ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ରଭାବରେ ଏଗୁଡ଼ିକୁ ଆବିଷ୍କାର କରିଥିଲେ । ଲରେଞ୍ଜ ଗୋଟିଏ ଅବେକ୍ଷଣ ଫ୍ରେମକୁ ଇଥର ମଧ୍ୟରେ ସ୍ଥିର ଥିବାର ଅନୁମାନ କରିଥିଲେ ଓ ଏହି ଫ୍ରେମରେ ପରିମାପଗୁଡ଼ିକୁ ତତ୍‌କ୍ଷଣାତ୍ ଏକ ଭୌତିକ ଅର୍ଥ ଦେଇଥିଲେ, ନୂତନ ଆପେକ୍ଷିକବାଦ ସୂଚାଉଛି ଯେ, ସମସ୍ତ ଜଡ଼ତ୍ୱ ଫ୍ରେମକୁ ସମାନଭାବରେ ବିଚାର କରିବାକୁ ହେବ ।

ସମୀକରଣ (୨·୪)କୁ x, y, z, t ପାଇଁ ସମାଧାନ କରିବାଦ୍ୱାରା ବ୍ୟୁତ୍କ୍ରମ ରୂପାନ୍ତରଣ ପାଇବା :

$$x = \gamma\,(x' + Vt') \qquad y = y'$$

$$t = \gamma\left(t' + \frac{Vx'}{c^2}\right) \qquad z = z' \qquad (2\cdot4a)$$

ଏହି ସମୀକରଣଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ ଆମେ ନିମ୍ନ ଉକ୍ତିଟି ସହଜରେ ପ୍ରତିଷ୍ଠା କରି ପାରିବା— ଗୋଟିଏ ଫ୍ରେମ୍‌ରେ ଦେଖାଯାଉଥିବା ଏକା ସ୍ଥାନରେ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ସମୟରେ ଘଟିବା ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ଫ୍ରେମରେ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ସ୍ଥାନରେ ଘଟିବା ପରି ଦେଖାଯାଇପାରେ । ସେହିପରି ଗୋଟିଏ ଫ୍ରେମ୍‌ରେ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ସ୍ଥାନରେ ଘଟୁଥିବା ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ଫ୍ରେମରେ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ସମୟରେ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ସ୍ଥାନରେ ଘଟିବା ପରି ଦେଖାଯାଇପାରେ । ତେଣୁ ସ୍ଥାନରେ ବିଭିନ୍ନତା ଆଂଶିକ ଭାବରେ ସମୟର ବିଭିନ୍ନତାରେ ପରିଣତ କରାଯାଇ ପାରେ ଓ ଏହାର ବିପରୀତ ମଧ୍ୟ ସମ୍ଭବ, ଏହା କେବଳ ଯେଉଁ ନିର୍ଦ୍ଦେଶନ ଫ୍ରେମ ବ୍ୟବହୃତ ହେଉଛି, ସେହି ଫ୍ରେମ ପରିବର୍ତ୍ତନ କରି କରାଯାଇପାରେ । ଏହି କାରଣରୁ ସ୍ଥାନ ଓ ସମୟକୁ ଏକ ଚତୁର୍ବିମିତିକ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନତା ଭାବେ ପ୍ରକାଶ କରିବା ପ୍ରଚଳିତ ପ୍ରଥା ହୋଇଗଲାଣି, ଏହାକୁ ସ୍ଥାନ-ସମୟ କୁହାଯାଏ ।

2.8 ସ୍ଥାନର ଆକୁଞ୍ଚନ ଓ ସମୟର ପ୍ରସାରଣ :

ଦୁଇଟି ବିଶେଷ ସ୍ଥଳରେ ଲରେଞ୍ଜ ରୂପାନ୍ତରଣ ସୂତ୍ରାବଳୀ ବିଶେଷ ଧରଣର ଫଳ ଦେଇଥାଏ ।

ମନେକର ଗୋଟିଏ ପଦାର୍ଥ S ରେ ସ୍ଥିର ଭାବରେ ଥିବାବେଳେ x ଅକ୍ଷର ଦିଗରେ ଏହାର ଦୈର୍ଘ୍ୟ L_0 । ଏହା S ତୁଳନାରେ ଏପରି ବେଗରେ ଗତି କଲା ଯେ S' ରେ ସ୍ଥିର ରହିଲା । S' ରେ ମାପ କଲେ ଏହାର ଦୈର୍ଘ୍ୟ L_0 ହେବ, କାରଣ କୌଣସି ପ୍ରାକୃତିକ ନିୟମ ଦ୍ୱାରା ଏହାର ଦୈର୍ଘ୍ୟ ମାପ କରାଯାଇଥିବ ଓ ତା ଅନୁସାରେ କୌଣସି ଫ୍ରେମରେ ଏହା ସ୍ଥିର ଥିବାବେଳେ ଏହାର କୌଣସି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ହେବ । ବର୍ତ୍ତମାନ ଦେଖିବା, S ରେ ଏହାର ଦୈର୍ଘ୍ୟ କେତେ ହେବ—ଯାହା ତୁଳନାରେ ପଦାର୍ଥଟି V ବେଗରେ ଗତି କରୁଅଛି । ଏହା କରିବାପାଇଁ ଆମେ ପ୍ରଥମେ ଜାଣିବା ଦରକାର— ଗୋଟିଏ ଗତିଶୀଳ ପଦାର୍ଥର ଦୈର୍ଘ୍ୟ କହିଲେ ଆମେ କ'ଣ ବୁଝୁ । ଏକ ସମୟରେ ଅର୍ଥାତ୍ ସମୟ t ପଦାର୍ଥଟିର ଦୁଇପ୍ରାନ୍ତ ବିନ୍ଦୁ ମଧ୍ୟରେ Sରେ ବ୍ୟବଧାନକୁ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବୋଲି କହିଲେ ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ହେବ । ଯଦି ଏହି ବିନ୍ଦୁମାନଙ୍କର ସ୍ଥାନାଙ୍କଗୁଡ଼ିକ x_1 ଓ x_2 ହୁଏ, ତେବେ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ହେଲା $L = x_2 - x_1$ । ଏହି ସଂଜ୍ଞା ଅନୁସାରେ, S'ରେ ପଦାର୍ଥଟି ସ୍ଥିର ରହି ଥିବାରୁ ଏହାର ପ୍ରାନ୍ତ ବିନ୍ଦୁଦ୍ୱୟର ସ୍ଥିର ସ୍ଥାନାଙ୍କ ହେବ x_1', x_2 ;

ହେତୁ $L_o = x_2' = x_1'$ । ଯଦି ସମୀକରଣ (୨·୪)ରୁ tର ଦତ୍ତମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ x_2 ଓ x_1'ର ମୂଲ୍ୟ ବସାଯାଏ, ଆମେ ପାଇବା

$$L_o = \gamma\ (x_2 - x_1) = \gamma L = \frac{L}{\sqrt{1 - V^2/c^2}}$$

ବା $$L = L_o \sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}} \qquad (2{\cdot}5)$$

ଏହି ସମୀକରଣରୁ ଆମେ ଦୁଇଟି ସ୍ପଷ୍ଟ ସୁଝାବରେ ଉପନୀତ ହେବା । ଯେଉଁ ଜଡ଼ତ୍ବ ଫ୍ରେମ୍‌ରେ ଗୋଟିଏ ପଦାର୍ଥ ସ୍ଥିର ଥାଏ, ସେଥିରେ ମାପ କରାଯାଉଥିବା ଦୈର୍ଘ୍ୟ ତୁଳନାରେ, ଯେଉଁ ଫ୍ରେମରେ ଏହା ଗତି କରୁଥାଏ, ସେ ଫ୍ରେମରେ ଏହାର ଦୈର୍ଘ୍ୟ କମିଯାଏ ଓ ଏହି କମିଯିବା ପରିମାଣ ହେଲା $\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}$ । ବିଭିନ୍ନ ଫ୍ରେମରେ ମାପ କରାଗଲେ ଏହିପରି ପରିମାପ ମିଳିଥାଏ । ଦ୍ୱିତୀୟରେ ଗୋଟିଏ ଫ୍ରେମ୍‌ରେ କୌଣସି ଭୌତିକ ପଦାର୍ଥ v ବେଗରେ ଗତି କଲେ, ଏହାର ଗତିର ଦିଗରେ ସ୍ରେଟ ହୋଇଯାଏ । ଏହିପରି ଅନୁମାନ ଫିଜ୍‌ଗେରାଲ୍ଡ଼ ଓ ଲରେଞ୍ଜ ନେଇଥିଲେ । ଏହି ସ୍ରେଟ ହେବାର ଅନୁପାତ $\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}$ । ଗୋଟିଏ ଦିଗରେ ଚିନ୍ତାକଲେ, ଏହି ସଙ୍କୁଚନ ବୋଧହୁଏ "ପ୍ରକୃତ" ସଙ୍କୁଚନ ନୁହେଁ କାରଣ ଯେଉଁ ଫ୍ରେମ୍‌ରେ ପଦାର୍ଥକ ସ୍ଥିର ରହେ, ସେଥିରେ ଆଗପରି ଏକା ପରିମାପ ଦେଇଥାଏ । କିନ୍ତୁ ପାରିପାର୍ଶ୍ୱିକ ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ପଦାର୍ଥ ଉପରେ ଏହାର ପ୍ରଭାବ ବିଚାର କଲେ, ଏହି ସଙ୍କୁଚନ*, ତାପମାତ୍ରା କମିଗଲେ ଘଟୁଥିବା ସଙ୍କୁଚନ ପରି ସତ୍ୟ ।

---

* ଏକଦା ବହୁଳ ଭାବରେ ଏକ ଭ୍ରମ ଧାରଣା ପୋଷିତ ହୋଇଥିଲା । ଏହି ଧାରଣା ଅନୁସାରେ ଗୋଟିଏ ପଦାର୍ଥ c ର ପାଖାପାଖି ବେଗରେ ଗତି କଲେ କୌଣସି ଆଖିକୁ ବା କାମେରାକୁ ସମୀକରଣ (୨·୫) ଅନୁସାରେ ଗତିର ଦିଗରେ ସଙ୍କୁଚିତ ହୋଇଗଲା ପରି ଦେଖାଯିବ । କିନ୍ତୁ ୧୯୫୯ରେ ଟେରେଲ ଦେଖାଇଲେ ଯେ, କୌଣସି ଆଲୋକ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ଯନ୍ତ୍ର ନିସୃକ୍ଷଣକାରୀ ଛିଦ୍ର ଦ୍ୱାରା ରେ କୌଣସି ଏକମୁହୂର୍ତ୍ତରେ ଯେଉଁ ଆଲୋକ ପହଞ୍ଚେ ଯନ୍ତ୍ର ଯାହା "ଦେଖେ ତାହା ଏହା ଉପରେ" ନିର୍ଭର କରିଥାଏ । ଆଲୋକ ଏକା ଜାଗାରେ ବିଭିନ୍ନ ସମୟରେ ବାହାରିଥାଏ, ଦୂରସ୍ଥ ବିନ୍ଦୁଗୁଡ଼ିକରୁ ଆଗରୁ ଓ ନିକଟସ୍ଥ ବିନ୍ଦୁଗୁଡ଼ିକରୁ ପରେ ବାହାରିଥିବ । ଏହା ଗୋଟିଏ ବିକୃତ "ଚିତ୍ର" ଦେବ—ଏଥିରେ ପଦାର୍ଥଟି ଘୂରିଗଲା ପରି ମନେ ହେବ (ଦେଖ, Phys Today 18 (9) : 24 (1960)] ।

ଏହାପରେ ଗୋଟିଏ ଦୋଲକ କଥା ବିଚାର କରିବା ଯଥା—ଗୋଟିଏ ଭଲ ସ୍ଫଟିକାକାର ଘଡ଼ି ବା ଗୋଟିଏ ବିକିରଣଶୀଳ ପରମାଣୁ । ଏମାନଙ୍କର ଆବୃତ୍ତି ପ୍ରାକୃତିକ ନିୟମଦ୍ୱାରା ନିୟନ୍ତ୍ରିତ, ତେଣୁ ଯେଉଁ ନିର୍ଦ୍ଦେଶ ଫ୍ରେମରେ ଦୋଲକଟି ସ୍ଥିର ରହେ ସେଥିରେ ଏହା ସମାନ ରହିବ । ଦୋଲକଟି S'ରେ ସ୍ଥିର ଅଛି । ତେଣୁ s ରେ ମାପ କରାଯାଇଥିବା ଗୋଟିଏ ଦୋଲନର କାଳ T କୁ t_2-t_1 ବୋଲି ଲେଖାଯାଇପାରିବ । x'କୁ ଧ୍ରୁବ ନେଇ t_2 ଓ t_1 ପାଇଁ ସମୀକରଣ (୨'୪କ) ବ୍ୟବହାର କଲେ

$$T=t_2-t_1=\gamma\,(t'_2-t'_1)=\frac{T'}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}}\ \text{ମିଳିବ ।} \qquad (୨'୭)$$

S'ରେ ମାପ କରାଯାଇଥିବା କାଳ T' । ଏହି ଫଳ କେବଳ ପରିମାପମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ସମ୍ବନ୍ଧ ଦେଖାଉନାହିଁ, ଏହାର ଗୋଟିଏ ଅର୍ଥ ଅଛି । ଯଦି sରେ ଦୋଲକଟି ସ୍ଥିର ଥାଆନ୍ତା, ତେବେ ଏହାର କାଳ ମଧ୍ୟ T' ହୋଇଥାନ୍ତା । ତେଣୁ, s ତୁଳନାରେ ଏହାକୁ ଗତିଶୀଳ କରାଇବାରୁ ଏହାର ଦୋଲନକାଳ γ ଅନୁପାତରେ ବଢ଼ିଗଲା । ଅଧିକ ବ୍ୟାପକଭାବରେ କହିଲେ, ଯେତେବେଳେ କୌଣସି ନିର୍ଦ୍ଦେଶ ଫ୍ରେମରେ ଗୋଟିଏ ସଂସ୍ଥା B ସ୍ଥିର ଥିବାବେଳେ ଅନ୍ୟ ଏକ ସଂସ୍ଥା A, ଏହା ତୁଳନାରେ V ବେଗରେ ଗତି କରୁଥାଏ, Aରେ ଘଟୁଥିବା ସମସ୍ତ ଘଟଣାରେ B କୁ ଦେଖିଲେ $\left(1-\frac{V^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}$ ଅନୁପାତରେ ମନ୍ଥର ହୋଇଯିବ । ସେହିପରି B ରେ ଘଟୁଥିବା ଘଟଣାସବୁ Aରୁ ଦେଖିଲେ, ଏହି ଅନୁପାତରେ ମନ୍ଥର ହୋଇଯିବ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ଗତିଶୀଳ ପରମାଣୁମାନଙ୍କରୁ ଆଲୋକରେଖା ସବୁ ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱର ପ୍ରଭାବ ଦର୍ଶାଇଥାଆନ୍ତି, ଏହା ଫଳରେ ସମୟର ପ୍ରସାରଣ ଲାଗି ରେଖାସବୁ ଲାଲଆଡ଼କୁ ସାମାନ୍ୟ ପରିମାଣରେ ବିସ୍ଥାପିତ ହୋଇଥାଆନ୍ତି ।

ମ୍ୟୁଅନଗୁଡ଼ିକ ଅସ୍ଥାୟୀ, ଏଗୁଡ଼ିକର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ବସ୍ତୁତ୍ୱର 207ଗୁଣ ଏବଂ ଚାର୍ଜ $q\mp1{\cdot}6\times10^{-16}$ C. ମ୍ୟୁଅନଗୁଡ଼ିକ ସ୍ଥିର ଥିବାବେଳେ ହାରାହାରି $2\mu s$ ଜୀବନକାଳ ମଧ୍ୟରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବା ପଜିଟ୍ରନକୁ ନଷ୍ଟ ହୋଇଯାଏ । କିନ୍ତୁ, 0·98c ବେଗରେ ଗତି କରୁଥିବା ମ୍ୟୁଅନ ପାଇଁ ମାପ କରାଯାଇଥିବା ଜୀବନକାଳ 5ଗୁଣ ଅଧିକ ।

ସମୀକରଣ (୨·୭) ର ସମୟର ପ୍ରସାରଣ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ପରୀକ୍ଷା ଫଳ ବହୁ ଅସ୍ଥାୟୀ କଣିକାଙ୍କର ଜୀବନକାଳ ପରିମାପରୁ ମିଳିଥାଏ । ଅନ୍ୟ ଯେକୌଣସି ଉପାୟରେ ମନ୍ଥରତା ଯେପରି ଏକ ସତ୍ୟ ଘଟଣା, ସମୟର ପ୍ରସାରଣର ପ୍ରଭାବ ମଧ୍ୟ ସେହିପରି ସତ୍ୟ ଘଟଣା । ଆଉ ଗୋଟିଏ ଉଦାହରଣ ନିଆଯାଉ, ମନେକର ଗୋଟିଏ ଭଲ ଷ୍ଟପିକାକାର ଘଣ୍ଟା କେତେକ ସମୟପାଇଁ ସରଳରେଖାରେ ଗତିକଲା -ପ୍ରଥମରେ ଗୋଟିଏ ଦିଗରେ ଗଲା ଓ ତାପରେ ବିପରୀତ ଦିଗରେ ଯାଇ ବାହାରିଥିବା ସ୍ଥାନକୁ ଫେରି ଆସିଲା । ଘଣ୍ଟା ତା ଗତିରେ ଏହି ପରିବର୍ତ୍ତନରେ ଧକ୍କା ନଏନାହିଁ । ଘଡ଼ିରେ ସମୟ କମିଯିବ ଓ ଯେଉଁ ଘଡ଼ିଟି ସ୍ଥିର ହୋଇ ରହିଥିବ, ତା'ର ସମୟ ତୁଳନାରେ ଏ ଘଡ଼ିଟି ପଛରେ ପଡ଼ିଯିବ ।

2·9 ଗତିବେଗ ରୂପାନ୍ତରଣ :

ପିନକର୍ ଲରେଞ୍ଜ ରୂପାନ୍ତରଣକୁ ବ୍ୟବହାର କରି ଫ୍ରେମ s ରୁ ଫ୍ରେମ S'କୁ ଗତିବେଗର ରୂପାନ୍ତରଣ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ବହୁ ଆବଶ୍ୟକ ସୂତ୍ରସବୁ ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ କରିଥିଲେ । ସଂଜ୍ଞା ଅନୁସାରେ,

$$v_x = \frac{dx}{dt} \qquad v_y = \frac{dy}{dt} \qquad v_z = \frac{dz}{dt}$$

$$v'_x = \frac{dx'}{dt'} \qquad v'_y = \frac{dy'}{dt'} \qquad v'_z = \frac{dz'}{dt'}$$

ଅନ୍ୟ ପକ୍ଷରେ, ସମୀକରଣ (୨·୪)ରୁ $dy' = dy$

$dz' = dz$ ଓ

$$dx' = \gamma\,(dx - V\,dt) \qquad dt = \gamma\left[dt - \frac{(V\,dx)}{c^2}\right]$$

ଏଠାରେ $\gamma = 1/\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}$ । ତେଣୁ ଆମେ ପାଇବା

$$v_x' = \frac{dx'}{dt'} = \frac{\gamma\,(dx - V\,dt)}{\gamma\,[dt - (V\,dx)/c^2]}$$

$$= \frac{\frac{dx}{dt} - V}{1 - (V\,dx)/c^2 dt} = \frac{v_x - V}{1 - V v_x/c^2}$$

ଏବଂ ସାଧାରଣ ଭାବରେ

$$v'_x = \frac{v_x - V}{1 - \frac{Vv_x}{c^2}} \quad v'_y = \frac{v_y}{\gamma\left(1 - \frac{Vv_x}{c^2}\right)} \quad v'_z = \frac{v_z}{\gamma\left(1 - \frac{Vv_x}{c^2}\right)} \qquad (୨'୭)$$

ସଂଖ୍ୟାରେ ଉଦାହରଣ ନେଲେ, Sରେ ସ୍ଥିର ଭାବରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ଉତ୍ସରୁ ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ନିଷ୍କାସିତ ହେବାର ଅନୁମାନ କର । ଏଥିରୁ ଗୋଟିଏ $-x$ ଅକ୍ଷରୁ $v_x = -0{\cdot}8c$ ବେଗରେ ଓ ଅନ୍ୟଟି $+x$ ଅକ୍ଷରୁ $v_x = 0{\cdot}9c$ ବେଗରେ ଯାଆନ୍ତି । ତେଣୁ Sରେ ମାପକଲେ ସେମାନଙ୍କର ଗତିବେଗରେ ତାରତମ୍ୟ ହେଲା $1{\cdot}7c$ । ଯଦି ଆମେ $V = -0.8c$ ନେବା ଅର୍ଥାତ୍ S' ସେ ମିତି ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ସହିତ $-x$ ଦିଗରେ ଗତି କରିବ, ଦ୍ୱିତୀୟ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନର ପ୍ରଥମ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ତୁଳନାରେ ଗତିବେଗ (ବର୍ତ୍ତମାନ S'ରେ ମାପ କଲେ) ହେବ,

$$v_x = \frac{0{\cdot}9c - (-0{\cdot}8c)}{1 - (-0{\cdot}8c)(0{\cdot}9c)/c^2}$$

$$= \frac{1{\cdot}7c}{1{\cdot}72} = 0{\cdot}99c\,.$$

ଯେତେବେଳେ v_x ଓ V ଆଲୋକର ଗତିବେଗ ତୁଳନାରେ କମ୍ ହେବ, ସମୀକରଣ (୨'୭) ପୁରାତନ ଗତିବେଗ ରୂପାନ୍ତରଣକୁ ଆସିଯିବ ;

$v'_x = v_x - V\ ;\quad v'_y = v_y\ ;\ v'_z = v_z$ ।

2·10 ବସ୍ତୁତ୍ୱରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ :

ନିଉଟନଙ୍କ ହାତରୁ ଆହୃତଥିବା ଯାନ୍ତ୍ରିକ ନିୟମଗୁଡ଼ିକ ଆପେକ୍ଷିକବାଦ ସଙ୍ଗେ ଖାପ ଖାଏନାହିଁ । ଏଗୁଡ଼ିକୁ ସଂଶୋଧନ କରିବାପାଇଁ ମୂଳତଃ ବିଦ୍ୟୁତ୍‌ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଗୋଟିଏ ଚାର୍ଜଯୁକ୍ତ କଣିକାର ଗତି ଆଲୋଚନା କଲାବେଳେ ଚେଷ୍ଟା ହୋଇଥିଲା; କିନ୍ତୁ ସେଗୁଡ଼ିକ ସାଧାରଣ ଯାନ୍ତ୍ରିକ ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକର ଆଲୋଚନାରୁ ମଧ୍ୟ ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ କରିହେବ ।

ଏଥିପାଇଁ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟତାର ନିୟମରୁ ମିଳିପାରୁଥିବା ଫଳ ଯେଉଁ ପରୀକ୍ଷାରୁ ମିଳିବ, ସେପରି ଗୋଟିଏ ପରୀକ୍ଷା ବିଷୟରେ ଦେଖ । ଦୁଇଟି ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ବଲ୍ A ଓ B ବିଷୟରେ

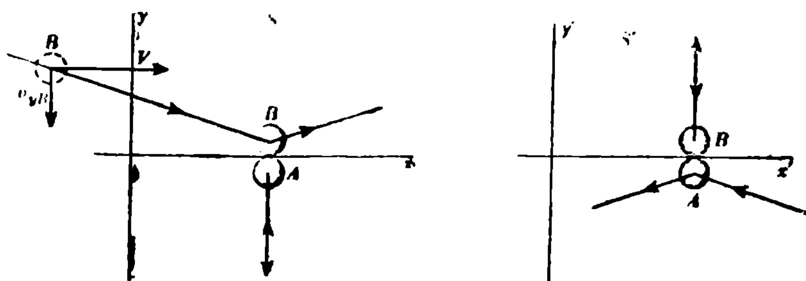
ହଅ । ଫ୍ରେମ Sରେ $+y$ ଦିଗରେ u ବେଗରେ A ନିକ୍ଷେପିତ ହେଉ ଓ Bକୁ S' ଫ୍ରେମ୍‌ରେ u' ବେଗରେ $-y'$ ଦିଗରେ ନିକ୍ଷେପିତ ହେଉ । ମନେକର $u'=u$ ଓ ଏ ଦୁହେଁ V ତୁଳନାରେ କମ୍ (V ହେଲା S'ର S ତୁଳନାରେ ବେଗ) । ଏ ଦୁଇ ବଲ୍ ପରସ୍ପର ସହ ଏପରି ଆଘାତ ପାଆନ୍ତି ଯେପରିକି S ରେ Aର ଗତିବେଗ ଓଲଟିଯିବ ଓ S'ରେ Bର ଗତିବେଗ ଓଲଟିଯିବ (ଚିତ୍ର ୨·୭) । Sରେ ଦେଖାଯିବ ଯେ, ବଲ୍ Bର ଗତିବେଗର y ସଂଯୋଜକ ସମୀକରଣ (୨·୭)ର ବ୍ୟୁତ୍କ୍ରମଦ୍ୱାରା ହେବ,

$$v_{yB}=\frac{v'_y\sqrt{1-V^2/c^2}}{1+Vv'_x/c^2}=u'\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}$$

ଯେହେତୁ $v'_x=0$ । ଯଦି ଶକ୍ତି ସଂରକ୍ଷିତ ହୁଏ, ଗୋଲକମାନଙ୍କର ଗତିବେଗର y ସଂଯୋଜକଗୁଡ଼ିକ କେବଳ ଓଲଟିଯିବେ, କିନ୍ତୁ x ସଂଯୋଜକଗୁଡ଼ିକ ଅପରିବର୍ତ୍ତିତ ରହିବେ । ସଂବେଗର ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମ ଦାବିକରେ ଯେ, ଫ୍ରେମ Sରେ ସଂଘର୍ଷ ପରେ y ସଂଯୋଜକର ମୂଲ୍ୟ ସଂଘର୍ଷ ପୂର୍ବ y ସଂଯୋଜକର ମୂଲ୍ୟ ସଙ୍ଗେ ସମାନ ହେବ, ଏବଂ ସେହି କାରଣରୁ

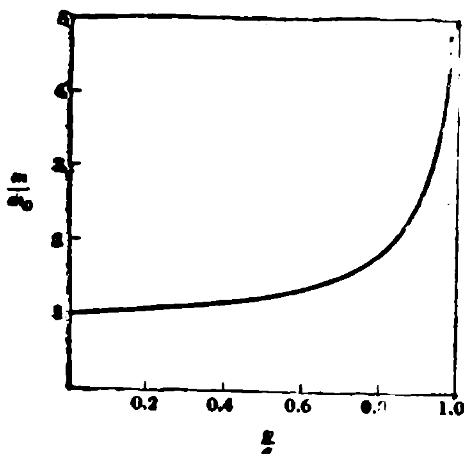
$$m_A u-m_B u'\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}$$

$$=m_B u'\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}-m_A u \qquad (୨·୮)$$



[ଚିତ୍ର ୨·୭ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଫ୍ରେମ S ଓ S' ଆପେକ୍ଷିକ ଗତିରେ ଥିବାବେଳେ ସେଥିରୁ ଦେଖାଯାଉଥିବା ପରସ୍ପର ଗୋଲକମାନଙ୍କର ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ସଂଘର୍ଷ]

ଅନୁମାନ ଅନୁସାରେ Sରୁ ଦେଖିଲେ $u' = u$ ହେଉଥିବାରୁ m_Bଟି m_A ସଙ୍ଗେ ସମାନ ନୁହେଁ, $m_A / \sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}$ ସଙ୍ଗେ ସମାନ । ଯେପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ uଟି ଯଥେଚ୍ଛା କମ୍ ହୋଇପାରେ, ଆମେ m_A ସ୍ଥାନରେ m_0 ନେଇପାରିବା, ଏଠାରେ S ତୁଳନାରେ ସ୍ଥିର



[ଚିତ୍ର ୨'୭ ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁତ୍ୱର, ଏହାର ସ୍ଥିର ଥିବାବେଳର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସହ ଅନୁପାତକୁ $\frac{v}{c}$ ର ଫଳନ ଭାବରେ ଦେଖାଯାଇଅଛି]

ଥିବାବେଳେ ଗୋଟିଏ ଗୋଳକର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ହେଲା m_0 । ତେବେ ଏହା ସ୍ପଷ୍ଟ ଯେ m_B ଟି Vର ଗୋଟିଏ ଫଳନ, ଏହାକୁ ଆମେ $m(V)$ ଭାବରେ ପ୍ରକାଶ କରିବା । ତେଣୁ ସମୀକରଣ (୨'୮)ରୁ ଆମେ ପାଇବା,

$$m(V) = \frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}} \qquad (୨'୯)$$

ଏଠାରେ m_0 କୁ ସ୍ଥିର ଥିବାବେଳର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବା ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ କୁହାଯାଏ ।

ଏଠାରେ m ପାଇଁ ସୂତ୍ର ଗୋଟିଏ ବିଶେଷ ଘଟଣା ପାଇଁ ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ ହୋଇଅଛି । ଯଦି ଏହା ସବୁଥର ଠିକ୍ ହେବ ବୋଲି ଆମେ ଅନୁମାନ କରନେବା, ଆମେ ଗୋଟିଏ ଆପେକ୍ଷିକ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ପାଇବା —ଏହା ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନ୍‌ଙ୍କର ମୌଳିକ ଅନୁମାନଗୁଡ଼ିକ ସହ ଖାପ ଖାଇଯିବ । ତେବେ ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁର ସଂବେଗ $\vec{P}$, ଗତିବେଗ V ହେଲେ

$$\vec{P} = m\vec{V} = \frac{m_0\vec{V}}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}} \qquad (୨.୧୦)$$

v ଟି c ର ପାଖାପାଖି ହେଲେ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସୀମାହୀନ ଭାବରେ ବଢ଼ିଯାଏ (ଚିତ୍ର ୨.୨) । କୌଣସି ବସ୍ତୁର ସସୀମ ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ m_0 ହୋଇଥିଲେ, ତାହା ଆଲୋକର ଗତିବେଗ ଲାଭ କରିପାରିବ ନାହିଁ; ଅସୀମ ସଂବେଗ ଏକ ଅଜଣା କଥା ।

2·11 ବଳ ଓ ଗତିଜ ଶକ୍ତି :

ଅନ୍ୟ ସମସ୍ତ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ପଦ ଓ ନିୟମ ବର୍ତ୍ତମାନ ପରୀକ୍ଷା କରି ସେଗୁଡ଼ିକ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହେବେ କି ନା ଦେଖିବା ।

ନିଉଟନଙ୍କ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀରେ ବାଳ $\vec{F}$ ସଂବେଗ $m\vec{V}$ ର ସମୟ ଅବକଳଜ । ବର୍ତ୍ତମାନ ଆମେ ବସ୍ତୁତ୍ୱ m କୁ $\vec{V}$ ର ଫଳନ ଭାବରେ ନେଉଥିବାରୁ, ପାଇବା

$$\vec{F} = m\frac{d\vec{V}}{dt} + V\frac{dm}{dv}\frac{du}{dt} = m\vec{a} + \vec{V}\frac{dm}{dt} \quad (୨.୧୧)$$

ତୃତୀୟ ଅଧ୍ୟାୟରେ ଆମେ ଦେଖିବା ଯେ, ଏହି ସମ୍ବନ୍ଧକ ତାହାର ପକ୍ଷକୁ ଯେତେବେଳେ ଯୌଗିକ ସହିତ ଆମେ ଲରେଞ୍ଜ ରୂପାନ୍ତରଣ ଲଗାଇବା, ଗତିଶୀଳ ନିର୍ଦ୍ଦେଶ ସଂସ୍ଥାମାନଙ୍କରେ ମାପ କଲେ ବଳଗୁଡ଼ିକ ମଧ୍ୟ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ହେବ ।

ଗୋଟିଏ ବଳଦ୍ୱାରା ହେଉଥିବା କାର୍ଯ୍ୟକୁ $\int \vec{F} \cdot d\vec{s}$ ବୋଲି ଆମେ ଆପେକ୍ଷିକବାଦରେ ମଧ୍ୟ ନେବା । ତେବେ ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁର ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ m_0 ଓ ଗତିବେଗ

$\vec{V}$ ହେଲେ, ତା'ର ଗତିଜ ଶକ୍ତି ଆମେ ସାଧାରଣ ଉପାୟରେ ବାହାର କରି ପାରିବା ।

ଗୋଟିଏ ମୋଟ ଧ୍ରୁବ ବଳ $\vec{F}$ ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁ ଉପରେ କାର୍ଯ୍ୟ କରି ଏହାକୁ ପ୍ରଥମରୁ

ଥିବା ସ୍ଥିର ଅବସ୍ଥାରୁ ଗତିବେଗ $\vec{V}$ ହେବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ନେଲେ ଗତିଜ ଶକ୍ତି K ହିସାବ କରି ହେବ ।

$$K = \int_{v=0}^{v=v} F\, ds = \int_{v=0}^{v=v} \frac{d}{dt} mv \frac{dS}{dt} dt$$

$$= v \frac{d}{dt} mv dt = \int v\, d\,(mv)$$

ଯେହେତୁ $\frac{dS}{dt} = v$ ବା ତାତ୍‌କାଳୀନ ଗତିବେଗ । ସମୀକରଣ (୨·୯)ରୁ ବସ୍ତୁରୁ

mର ମୂଲ୍ୟ ବସାଇଲେ ଆମେ ପାଇବା

$$K = \int m\, d\,(mu) = \int vd \frac{m_0 v}{\left(1 - \frac{u^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

$$= m_0 \int u \left[\frac{1}{\left(1 - \frac{u^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}} + \frac{v^2/c^2}{\left(1 - \frac{u^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}}\right] dv$$

$$= m_0 \int_0^v \frac{v\,dv}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}} = m_0 c^2 \frac{1}{\left(1 - \frac{v^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}}\Bigg|_0^v$$

ତେଣୁ m_0 ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁ v ବେଗରେ ଗଲାବେଳେ ଗତିଜ ଶକ୍ତି ଆମେ ପାଉ,

$$K = m_0 c^2 \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} - 1\right) \qquad (୨·୧୨)$$

ଆମେ vର ଶକ୍ତି ପ୍ରସାର କରି ପାଇବୁ,

$$\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)^{-\frac{1}{2}}=1+\frac{1}{2}\frac{v^2}{c^2}+\frac{3}{8}\frac{v^4}{c^4}+\frac{5}{16}\frac{v^6}{c^6}+\cdots$$

ଅତଏବ

$$K=\tfrac{1}{2}m_0v^2\left(1+\frac{3}{4}\frac{v^2}{c^2}+\frac{5}{8}\frac{v^4}{c^4}+\cdots\right)$$

ତେଣୁ, ଯଦି $v << c$ ହୁଏ. k ମୋଟାମୋଟି ସାଧାରଣ ଆସନ୍ନ ମୂଲ୍ୟ $\frac{1}{2}m_0v^2$ ହେବ । ଏହି ପରିସ୍ଥିତିରେ ସଂବେଗ ମଧ୍ୟ ସାଧାରଣ ଭାବରେ m_0v ବୋଲି ଲେଖା ଯାଇପାରିବ । ବ୍ୟାପକ ଭାଷାରେ କହିଲେ, ଯେତେବେଳେ ଆଲୋକର ଗତିବେଗ ତୁଳନାରେ କୌଣସି ଗତି ମନ୍ଥର ହୁଏ, ଯାନ୍ତ୍ରିକ ନିୟମ ସେ ଗତି ପାଇଁ ମୋଟାମୋଟି ଭାବରେ ନିଉଟନୀୟ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀରେ ପରିଣତ ହୋଇଯିବ ।

2·12 ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଓ ଶକ୍ତି :

ସମୀକରଣ (୨·୯) ଓ (୨·୧୨)କୁ ମିଳାଇ ଆମେ ଲେଖିବା,

$$K=(m-m_0)c^2 \qquad (୨·୧୨କ)$$

ଗୋଟିଏ ଗତିଶୀଳ ବସ୍ତୁର ଗତିଜ ଶକ୍ତି ଗତି ଫଳରେ ଏହାର ବସ୍ତୁତ୍ୱରେ ହୋଇଥିବା ବୃଦ୍ଧିର c^2ଗୁଣ ସଙ୍ଗେ ସମାନ । ଏହି ସମ୍ବନ୍ଧରୁ ଶକ୍ତିରେ ବୃଦ୍ଧି ପ୍ରକୃତରେ ବସ୍ତୁତ୍ୱର ବୃଦ୍ଧିର କାରଣ ବୋଲି ଆମେ ଚିନ୍ତା କରି ପାରିବା । ତେଣୁ ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ m_0, ବସ୍ତୁରେ ପ୍ରାରମ୍ଭରୁ m_0c^2 ପରିମାଣର ଶକ୍ତି ଗଚ୍ଛିତ ଥିବାର ଫଳ ବୋଲି ଅନୁମାନ କରିବା ବେଶ୍ ଆକର୍ଷଣୀୟ । ଏହାକୁ ବସ୍ତୁର ସ୍ଥିର ଶକ୍ତି ବୋଲି କୁହାଯାଇପାରେ ।

ସେଥିପାଇଁ ଗୋଟିଏ ଗତିଶୀଳ ବସ୍ତୁର ମୋଟ ଶକ୍ତି ହେବ, m_0c^2+k,

ବା $$E=mc^2=\frac{m_0c^2}{(1-v^2/c^2)^{\frac{1}{2}}} \qquad (୨·୧୩)$$

ଏହାର କଣେଷ୍ଟ ବସ୍ତୁତ୍ୱ m ଓ ସଂବେଗ P ପାଇ ଆମେ ଲେଖିବା,

$$m=\frac{E}{c^2} \qquad (୨·୧୪କ)$$

$$P=mv=\frac{Ev}{c^2} \qquad (୨·୧୪ଖ)$$

(୨.୧୩) ଓ (୨.୧୪ଖ)ରୁ ମିଳୁଛି ଯେ,

$$E^2 = m_0c^4 + P^2c^2 \qquad (୨.୧୫)$$

ଉପରେ ମିଳିଥିବା ସମ୍ବନ୍ଧଗୁଡ଼ିକରୁ ନିଶ୍ଚେଷ୍ଟ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଶକ୍ତିର ଗୋଟିଏ ଗୁଣ ବୋଲି ସୂଚନା ମିଳୁଛି, ଏହା ବସ୍ତୁର ଗୁଣ ନୁହେଁ —ଏହା ସହିତ ଶକ୍ତିର ଯେତେ ଜୋଲ୍ ରହୁଛି, ତାର $\frac{1}{c^2}$ kg ବସ୍ତୁଟିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ । ନିଉକ୍ଲିୟସର ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକ ଆଲୋଚନା କରିବାରେ ଏହି ଧାରଣା ଅତ୍ୟନ୍ତ ଦରକାରୀ ଧାରଣା ହୋଇଅଛି । ଉଦାହରଣସ୍ୱରୂପ, ଗୋଟିଏ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଉପରେ γ-ରଶ୍ମି ଫୋଟନ ଆଘାତ ପାଇ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଓ ଗୋଟିଏ ପଜିଟ୍ରନରେ ରୂପାନ୍ତରିତ ହୋଇପାରେ । ଏଠାରେ ଫୋଟନର ଶକ୍ତି ଆଂଶିକ ଭାବରେ କଣିକାମାନଙ୍କର ଗତିଜ ଶକ୍ତିରେ ଓ ଆଂଶିକ ଭାବରେ ସେମାନଙ୍କର ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଶକ୍ତି $2m_0c^2$ରେ ଦେଖାଦେଉଅଛି । ଆବୃତ୍ତି ν ଓ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ λ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ଫୋଟନର ଶକ୍ତି $E = h\nu$ ଏବଂ ସଂବେଗ $P = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$; ଏଠାରେ h ହେଲା ପ୍ଲାଙ୍କଙ୍କ ଧ୍ରୁବ ।

ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଚାର୍ଜଯୁକ୍ତ କଣିକାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସବୁଠାରୁ ହାଲୁକା । ଏହା ପାଇଁ ସର୍ବପ୍ରଥମେ ଆପେକ୍ଷିକ ବାଦ ଅନୁସାରେ ଗତି ଉପରେ ନିର୍ଭର କରି ବସ୍ତୁତ୍ୱର ପରିବର୍ତ୍ତନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଅନୁସନ୍ଧାନ କରାଯାଇଥିଲା । ପରୀକ୍ଷା ଲବ୍‌ଧ ଫଳ ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱର ଫଳାଫଳ ସହିତ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣଭାବେ ମିଳିଯାଇଥିଲା । ଯେହେତୁ ଏଗୁଡ଼ିକୁ ବିଭବ ତାରତମ୍ୟ ମଧ୍ୟରେ ତ୍ୱରାନ୍ୱିତ କରିବାଦ୍ୱାରା ଉଚ୍ଚ-ଶକ୍ତି ସମ୍ପନ୍ନ ଚାର୍ଜଯୁକ୍ତ କଣିକା ସୃଷ୍ଟି ହୁଏ, ଏଗୁଡ଼ିକର ଶକ୍ତି-ଗୁଡ଼ିକୁ (ଗତିଜ, ସ୍ଥିର ଓ ମୋଟ ଶକ୍ତି) ଇଲେକଟ୍ରନ ଭୋଲ୍‌ଟରେ † ମାପ କରିବା ସହଜ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନର ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ 0.511 mev ର ଅନୁରୂପ । ଗୋଟିଏ

---

† ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଏକ ଭୋଲ୍‌ଟର ବିଭବ ତାରତମ୍ୟ ମଧ୍ୟରେ ଗତିକଲେ ଯେଉଁ ପରିମାଣର ଶକ୍ତି ଲାଭ କରିବ, ତାକୁ ଏକ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଭୋଲ୍‌ଟ କୁହାଯାଏ; $1\ eV = 1.602 \times 10^{-19}$ J. ।

ଇଲେକ୍ଟ୍ରନକୁ 1 *GeV* ଗତିଜ ଶକ୍ତି, କୌଣସି ଏକ ତ୍ୱରଣକାରୀରେ ଦେଲେ ଏହାର ମୋଟ ଶକ୍ତି mc^2କୁ 1000·511 *MeV*ର ଅନୁରୂପ ହେବ; ଏହାର ବସ୍ତୁତ୍ୱ *m* ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱର ପ୍ରାୟ 2000 ଗୁଣ ହେବ ।

ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଓ ପ୍ରୋଟନ ପରି ମୌଳିକ କଣିକାମାନଙ୍କର ବସ୍ତୁତ୍ୱର ପରିମାଣ ପ୍ରକୃତରେ ଯେତେ ସୂକ୍ଷ୍ମଭାବରେ ଜଣାଅଛି, ସେଗୁଡ଼ିକର ଅନୁରୂପ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଭୋଲ୍ଟରେ ତା'ଠାରୁ ଅଧିକ ସୂକ୍ଷ୍ମ ଭାବରେ ଜଣାଅଛି । ସେହି କାରଣରୁ ପ୍ରୋଟନ ପରି ଗୋଟିଏ କଣିକାର "ବସ୍ତୁତ୍ୱ"କୁ ସାଧାରଣତଃ 938 *MeV* ଆକାରରେ କୁହାଯାଇଥାଏ । ପୃଷ୍ଠ ପ୍ରଚ୍ଛଦର ଭିତର ପାଖରେ ଏହିପରି ଭାବରେ କେତୋଟି ମୌଳିକ କଣିକାଙ୍କର ବସ୍ତୁତ୍ୱର ତାଲିକା ଦିଆଯାଇଅଛି ।

ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଓ ଶକ୍ତି ମଧ୍ୟରେ ସମ୍ପର୍କ ଗତିଜ ଶକ୍ତି ବା ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱକୁ ସୀମିତ ନୁହେଁ । ଆପେକ୍ଷିକବାଦ ଅନୁସାରେ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ସହିତ ମଧ୍ୟ ବସ୍ତୁତ୍ୱକୁ ସଂପୃକ୍ତ କରିବାକୁ ହେବ । ଲରେଞ୍ଜ ଓ ଅନ୍ୟମାନେ ଜାଣିବାକୁ ଚେଷ୍ଟା କରିଥିଲେ—ଚାର୍ଜ ବଣ୍ଟନଫଳରେ ଉତ୍ପନ୍ନ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ହେବାର ସମ୍ଭାବନା କେତେ ଅଛି । ଗୋଟିଏ ଚାର୍ଜ *Q* ଗୋଟିଏ *r* ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଲକରେ ସମଭାବରେ ବଣ୍ଟନ ହୋଇଥିଲେ, ତା'ର ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ହେବ $\frac{3}{5}Q^2/4\pi\in_0 r$; ଅନ୍ୟ ପ୍ରକାରରେ ଗୋଲକାକାରରେ ବଣ୍ଟନ ହେଲେ $\frac{3}{5}$ ସ୍ଥାନରେ ଅନ୍ୟ ସଂଖ୍ୟାମୂଳକ ଧ୍ରୁବ ନେବାକୁ ହେବ; କିନ୍ତୁ $Q^2/4\pi\in_0 r$ ବାରମ୍ବାର ଦେଖାଦେବ । କାର୍ଯ୍ୟତଃ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ, $mc^2 = e^2/4\pi\in_0 r_0$ ଲେଖିବା ପ୍ରଚଳିତ ପ୍ରଥା ହୋଇଗଲାଣି । ଏଠାରେ $r_0 = \frac{e^2}{4\pi\in_0 mc^2}$ $= 2{\cdot}81784\times10^{-15}$ *m* (୨.୧୬) ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ପୁରାତନ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ନାମରେ ପରିଚିତ । ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଉଚ୍ଚଶକ୍ତିରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ବିଚ୍ଛୁରଣ ପରୀକ୍ଷାରୁ ଦେଖାଯାଉଅଛି ଯେ, 2×10^{-16} *m* ବ୍ୟବଧାନ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା କୁଲମ୍ବ ଆକର୍ଷଣ ହେଉଅଛି: ତେଣୁ ପୁରାତନ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ—ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ସହିତ ନମିଳ, ଏହାଠାରୁ କେତେଗୁଣ ଅଧିକ ବୋଲି ସ୍ପଷ୍ଟ ଜଣାପଡୁଛି । ଅନ୍ୟପକ୍ଷରେ, ବିଚ୍ଛୁରଣ ଏକ୍ସରେ ପାଇଁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ r_0 କୋଟିର ହୁଏ ।

2·13³ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଓ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି :

ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଗତିଜ ଶକ୍ତି ଓ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ—ଏହା ଦେଖିବାପାଇଁ, ଉଦାହରଣସ୍ୱରୂପ, S ଦର୍ଶକ ଦୁଇଟି ସମ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବିଶିଷ୍ଟ ବସ୍ତୁ ସମବେଗରେ x ଅକ୍ଷରେ ବିପରୀତ ଦିଗରୁ ଆସି ପରସ୍ପର ସହିତ ସଂଘର୍ଷ ଘଟାନ୍ତି । ସେ ଦୁହିଁଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ସ୍ପ୍ରିଙ୍ଗ ରହୁ । ସେମାନେ ନେତେବେଳେ ସ୍ଥିର ଅବସ୍ଥାକୁ ଆସିବେ; ସେମାନଙ୍କୁ ଏକାଠି ରଖି ଗୋଟିଏ ସଯୁକ୍ତ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସୃଷ୍ଟି ହେଉ । ବସ୍ତୁ ଦୁଇଟିର ମୂଳ ଗତିଜ ଶକ୍ତି ସଘର୍ଷ ଦ୍ୱାରା ସ୍ପ୍ରିଙ୍ଗର ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତିରେ ପରିଣତ ହୁଅନ୍ତି । ଗୋଟିଏ ଦ୍ୱିତୀୟ ନିର୍ଦ୍ଦେଶନ ଫ୍ରେମ S'ରୁ ଏହି ସଂଘର୍ଷକୁ ଦେଖାଯାଉ; S'ଟି x କୁ ସମାନ୍ତର କରି V ଗତିବେଗରେ ଗତି କରୁ । ଯଦି ସଂଘର୍ଷ ପୂର୍ବରୁ ବସ୍ତୁ ଦୁଇଟିର ଗତିବେଗ S ରେ ମାପ କରାଯାଇଥିଲେ $v_1 = v_{x1} = v$, $v_2 = v_{x2} = -v$ ହୁଏ । ସେହି ଗତିବେଗ ଗୁଡ଼ିକ S'ରେ ମାପ କଲେ ସମୀକରଣ (୨·୭) ଅନୁସାରେ ହେବ,

$$v'_1 = v_{x1}' = \frac{v - V}{1 - \frac{vV}{c^2}} = -V + \left(1 - \frac{V^2}{c^2}\right)\frac{v}{1 - \frac{Vv}{c^2}}$$

$$v'_2 = v_x{'}_2 = \frac{-v - V}{1 + \frac{Vv}{c^2}} = -V - \left(1 - \frac{V^2}{c^2}\right)\frac{v}{1 + \frac{Vv}{c^2}}$$

ତେଣୁ,

$$\frac{v'_1}{(1 - v_1^2/c^2)^{\frac{1}{2}}} = -\frac{V}{(1 - v_1'^2/c^2)^{\frac{1}{2}}} + \left(1 - \frac{V^2}{c^2}\right)\frac{v}{[1 - (V^2 + v^2)/c^2 + V^2v^2/c^4]^{\frac{1}{2}}}$$

ଶେଷ ପଦଟି ବର୍ଗମୂଳ ତହିଁରେ v'_1 ସ୍ଥାନରେ v'_1 ପାଇଁ ଉପରର ପ୍ରଥମ ଉକ୍ତି ବସାଇଲେ ମିଳିବ । ସେହିପରି,

$$\frac{v'_2{}^2}{\left(1 - \frac{v'_2{}^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}} = -\frac{V}{\left(1 - \frac{v_2'^2}{c^2}\right)^{\frac{1}{2}}} - \left(1 - \frac{V^2}{c^2}\right)\frac{v}{[1 - (V^2 + v^2)/c^2 + V^2v^2/c^4]^{\frac{1}{2}}}$$

ତେଣୁ ସଂଘର୍ଷ ପୂର୍ବରୁ ମୋଟ ସଂବେଗ ହେଲା

$$\frac{m_0 v_1'}{\sqrt{1-\frac{v_1'^2}{c^2}}} + \frac{m_0 v_2'}{\sqrt{1-\frac{v_1'^2}{c^2}}}$$

$$= -m_0 V\left(\frac{1}{\sqrt{1-\frac{v_1'^2}{c^2}}} + \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v_2'^2}{c^2}}}\right) \quad (୨.୧୭)$$

ଅନ୍ୟ ପକ୍ଷରେ, ଯଦି ସଂଘର୍ଷ ପରେ ସଂଯୁକ୍ତ ବସ୍ତୁର ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଦୁଇ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ବସ୍ତୁର ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱର କେବଳ ଯୋଗଫଳ ହୁଏ ବା $2m_0$ ହୁଏ, ସଂଘର୍ଷ ପରେ ମୋଟ ସଂବେଗ ସମୀକରଣ (୨.୧୦) ଅନୁସାରେ ହେବ,

$$\frac{-2m_0 V}{\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}}$$

କାରଣ ସଂଯୁକ୍ତ ବସ୍ତୁର ଗତିବେଗ ସେତେବେଳେ ହେବ—V । ଏହା ସଂଘର୍ଷର (୨.୧୭) ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ପୂର୍ବ ସଂବେଗ ସହ ସମାନ ନୁହେଁ । v_1' ଓ v_2' ଦୁହେଁ V ଠାରୁ ବୃହତ୍ତର ବା କ୍ଷୁଦ୍ରତର ହେଲେ ଏହା ସହଜରେ ଦେଖି ହେବ । ଯଦି କେବଳ ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱକୁ ହିସାବକୁ ନିଆଯାଏ, ତେବେ ସଂବେଗର ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହେବନାହିଁ । କିନ୍ତୁ ଯଦି ଆମେ ସଂଯୁକ୍ତ ବସ୍ତୁର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସହିତ ସ୍ପ୍ରିଙ୍ଗର ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ସହିତ ସଂଯୁକ୍ତ ବସ୍ତୁତ୍ୱକୁ ହିସାବକୁ ନେବା । ତେବେ ମୋଟ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ମୋଟ ଶକ୍ତିକୁ ଆନୁପାତିକ ହେବ ଓ ଏହା ଗୋଟିଏ ଧ୍ରୁବ । ତେଣୁ ସଂଘର୍ଷ ପରେ ମୋଟ ବସ୍ତୁତ୍ୱ, ସଂଘର୍ଷର ପୂର୍ବ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସହ ସମାନ ହେବ, ବା

$$\frac{m_0}{\sqrt{1-v_1'^2/c^2}} + \frac{m_0}{\sqrt{1-v_2'^2/c^2}}$$

ଯଦି ମୋଟ ବସ୍ତୁତ୍ୱର ଏହି ମୂଲ୍ୟକୁ ସଂଘର୍ଷ ପରେ ବସ୍ତୁମାନଙ୍କର ସାଧାରଣ ଗତିବେଗ −Vରେ ଗୁଣନ କରାଯାଏ ସଂଘର୍ଷ ପରେ ଆମେ ସଂଘର୍ଷ ପୂର୍ବରୁ ସମୀକରଣ (୨.୧୭) ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ମୋଟ ସଂବେଗ ସହ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ମିଳୁଥିବା ଉତ୍ତର ପାଇ ପାରିବା । ତେଣୁ ସଂବେଗ ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମ ଏଠାରେ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହେବ । ଏହା ସତ୍ୟ ହେବ କେବଳ ଯେବେ ଆମେ ଅନୁମାନ କରିବା ଯେ, ସ୍ପ୍ରିଙ୍ଗ୍‌ର ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ସଂଶ୍ଳିଷ୍ଟ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଓ ସଂବେଗକୁ ତା'ର ଅବଦାନ ଦିଏ ।

ପ୍ରଶ୍ନାବଳୀ

୧ । ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ 1.8×10^8 m/s ବେଗରେ ଗତି କରୁଅଛି । ଏହାର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଓ ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱର ଅନୁପାତ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର । ଏହାର ଗତିଜ ଶକ୍ତି କେତେ ? ଏହା ମୋଟ ଶକ୍ତି କେତେ ?

ଉତ୍ତର—1·25, 128 KeV, 0·639 MeV.

୨ । ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନର ଗତିଜ ଶକ୍ତି ଏହାର ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସହ (938MeV) ସମାନ ହେବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ, ଗୋଟିଏ ସିଂକ୍ରୋଟ୍ରୋନରେ ଏହାକୁ ତ୍ୱରାନ୍ୱିତ କରାଗଲା । ଏହି ପ୍ରୋଟନର v/c ଅନୁପାତ ସ୍ଥିର କର ।

୩ । ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନକୁ ଗତିଜ ଶକ୍ତି 1.00×10^9 eV ହେବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ତ୍ୱରାନ୍ୱିତ କରାଗଲା (1 *GeV* ବା ଯୁକ୍ତରାଜ୍ୟ ଆମେରିକାରେ ଯାହାକୁ 1*BeV* କୁହାଯାଏ) । ଏହି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ m/m_0 ଓ v/c ଅନୁପାତ ସ୍ଥିର କର ।

ଉତ୍ତର : $1{\cdot}96 \times 10^3$; 0·99999987

୪ । ପ୍ରୋଟନଗୁଡ଼ିକ 0·600c ବେଗ ଲାଭ କରିବାପାଇଁ କେତେ ବିଭବ ତାରତମ୍ୟ ମଧ୍ୟରେ ତ୍ୱରାନ୍ୱିତ ହେବା ଦରକାର ? ଏପରି ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନର ସଂବେଗ କେତେ ? ଏହାର ମୋଟ ଶକ୍ତି କେତେ ?

ଉତ୍ତର : 235 me V; $3{\cdot}76 \times 10^{-19}$ Kg – m/s ; 1173 meV.

୫ । ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ବେଗକୁ 0·5cରୁ 0·9cକୁ ବଢ଼ାଇବା ପାଇଁ କେତେ କାମ କରିବାକୁ ହେବ ବାହାର କର ।
ଉତ୍ତର : 0·582 meV.

୬ । ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ କେତେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଭୋଲ୍ଟ ଶକ୍ତି ଲାଭ କଲେ ଏହାର ବସ୍ତୁତ୍ୱ (କ) $1{\cdot}05m_0$ ଓ (ଖ) $2m_0$ ହେବ ? ପ୍ରତ୍ୟେକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟିର ବେଗ କେତେ ?

ଉତ୍ତର : (a) 25,500, $9{\cdot}2\times10^7$ m/s
(b) 511,000, $2{\cdot}6\times10^8$ m/s.

୭ । ସମୀକରଣ (୬·୭) ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ v_y'ର ରୂପାନ୍ତରଣ ପାଇଁ ଆବଶ୍ୟକ ଉପରେସନ ସତ୍ରୁ କର । ସମୀକରଣ (୬.୪କ)ରୁ ଆରମ୍ଭ କରି ଗୋଟିଏ କଣିକାର କୌଣସି ଏକ ଗତିବେଗ $\vec{V}$ ପାଇଁ v_x ଓ v_y ର ରୂପାନ୍ତରଣ v_x' ଓ v_y' ପଦମାନଙ୍କରେ ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ କର ।

୮ । ଗୋଟିଏ K କଣିକା 0·5c ବେଗରେ ପୂର୍ବକୁ ଗତି କରୁଥିବାବେଳେ ଏହାକୁ ପଶ୍ଚିମକୁ 0·95c ବେଗରେ ଗତି କରୁଥିବା ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଅତିକ୍ରମ କରେ । K କଣିକା ତୁଳନାରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟିର ବେଗ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

ଉତ୍ତର : 0·98c.

୯ । ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଦକ୍ଷିଣକୁ $2{\cdot}5\times10^8 m/s$ ବେଗରେ ଗତି କଲାବେଳେ ବାମକୁ ବାମକୁ $2{\cdot}8\times10^8 m/s$ ବେଗରେ ଗତି କରୁଥିବା ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନକୁ ଅତିକ୍ରମ କରେ । ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଅନ୍ୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ତୁଳନାରେ ବେଗ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

ଉତ୍ତର : $2{\cdot}98\times10^8\ m/s$.

୧୦ । ଯଦି S ଫ୍ରେମ୍‌ରେ ଦୁଇଟି ବିନ୍ଦୁ (x_1, y_1, z_1) ଓ (x_2, y_2, z_2) ରେ ଯୁଗପତ୍ ଭାବରେ ଦୁଇଟି ଘଟଣା ଘଟେ, ଦେଖାଅ ଯେ, ସେଗୁଡିକ S'ରେ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ସମୟରେ ଘଟିବେ; $t_2'-t_1'=\gamma V\,(x_1-x_2)\,c^2$ ହେବ ।

୧୧ । S' ଫ୍ରେମ S ନିର୍ଦ୍ଦେଶ ଫ୍ରେମ୍‌କୁ ଆନୁଭୂମିକ ଭାବରେ 0·6c ବେଗରେ ଅତିକ୍ରମ କରୁଅଛି । S'ରେ ଜଣେ ଦର୍ଶକ A ସ୍ଥିର ରହିଅଛି । ଗୋଟିଏ ବାଳକ S ଫ୍ରେମରେ ଗୋଟିଏ ବଲ୍ ପକାଇଲା । ଦର୍ଶକ A' ର ଘଡ଼ିଅନୁସାରେ ଏହା 1·5 S ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ପଡ଼ିଲା । S ଫ୍ରେମ୍‌ରେ ଜଣେ ଦର୍ଶକ ପାଇଁ ବଲ୍‌ଟି କେତେ ସମୟ ପଡ଼ିଲା ?

ଉତ୍ତର : 1·2 s.

୧୨ । ଗୋଟିଏ ସ୍ଥିର ଥିବା ମ୍ୟୁଅନର ହାରାହାରି ଜୀବନ ପ୍ରାୟ 2×10^{-6} s । ଯଦି କସ୍‌ମିକ ରଶ୍ମିରେ ଥିବା ମ୍ୟୁଅନ ହାରାହାରି ଗତି $0{\cdot}998c$ ହୁଏ, ଏହି ମ୍ୟୁଅନମାନଙ୍କର ହାରାହାରି ଜୀବନକାଳ ଓ ଭାଙ୍ଗିଯିବା ପୂର୍ବରୁ ମୋଟାମୋଟି କେତେଦୂର ସେମାନେ ଗତି କରିଥିବେ, ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

ଉତ୍ତର : $3{\cdot}2 \times 10^{-5}$ s; $9{\cdot}5$ km.

୧୩ । ପାଇଅନମାନଙ୍କର ପରୀକ୍ଷା ଲବ୍‌ଧ ଅର୍ଦ୍ଧଜୀବନ ସ୍ଥିର ଥିବା ଅବସ୍ଥାରେ $1{\cdot}8 \times 10^{-9}$ s । ଗୋଟିଏ ପାଇଅନ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛର ବେଗ $0{\cdot}95c$ । ଲାବରେଟରୀ ଅକ୍ଷମଣ୍ଡଳୀରେ ସେଥିରୁ ଅର୍ଦ୍ଧେକ ଭାଙ୍ଗିଯିବା ପାଇଁ କେତେ ସମୟ ଲାଗିବ ? ଏହି ସମୟ ମଧ୍ୟରେ ସେମାନେ କେତେ ଦୂର ଯାଇଥିବେ ?

ଉତ୍ତର : $5{\cdot}8$ ns ; $1{\cdot}7m$.

୧୪ । ପ୍ରଥମରୁ ସ୍ଥିର ଥିବା ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁ ଉପରେ ଗୋଟିଏ ଧ୍ରୁବ ବଳ F ସମୟ t ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ କାର୍ଯ୍ୟ କରେ ଦେଖାଅ ଯେ, ଏହାର ବେଗ $v(t) \quad c/[1+(m_0c/Ft)^2]^{\frac{1}{2}}$ । ଆଉ ମଧ୍ୟ ଦେଖାଅ ଯେ, ଯଦି $Ft \ll m_0c$ ହୁଏ । $v(t) \simeq Ft/m_0$; କିନ୍ତୁ ଯଦି $Ft \gg m_0c$ ହୁଏ, $v(t) \simeq c$ ।

୧୫ । ଗୋଟିଏ କଣିକାର ସ୍ଥିର ଶକ୍ତି m_0c^2 ଓ ମୋଟ ଶକ୍ତି E । ଦେଖାଅ ଯେ, ଏହି କଣିକାର ଗତିବେଗ ହେବ $c\sqrt{1-(m_0c^2/E)^2}$

୧୬ । ଫିଜୋ ଦେଖାଇଥିଲେ ଯେ, ଗୋଟିଏ ତରଳ ପଦାର୍ଥ ଆଲୋକ ରଶ୍ମି ଆଡ଼କୁ u ଗତି ବେଗରେ ପ୍ରବାହିତ ହେଉଥିଲେ, ସେଥିରେ ଆଲୋକର ଗତିବେଗ ହେବ $v = c/n - u\left(1-\frac{1}{n^2}\right)$ ଏଠାରେ n ହେଲା ତରଳ ପଦାର୍ଥର ପ୍ରତିସରଣାଙ୍କ । ଦେଖାଅ ଯେ, ଯେବେ u/c ର ଉଚ୍ଚଶକ୍ତି ସମ୍ପନ୍ନ ପଦ ସବୁକୁ ବାଦ ଦିଆଯାଏ, ତେବେ ଏହି ଫଳ ସମୀକରଣ (୬-୭)ରେ ଦିଆଥିବା ଆପେକ୍ଷିକ ନିୟମ ପାଳନ କରିବ ।

୧୭ । ଦେଖାଅ ଯେ ଯଦି s ପର ଦର୍ଶକ S'ରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ ମିଟର ବାଡ଼ିର 'ଦୈର୍ଘ୍ୟ', ଏହି ବାଡ଼ିଟି ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ବିନ୍ଦୁ x_1କୁ ଅତିକ୍ରମ କରିବା ସମୟକୁ V ଦ୍ୱାରା

ଗୁଣନ କର ଲବ୍ଧିସ୍ଥ କରେ, ସମୀକରଣ (୨·୫)ରେ ମିଳୁଥିବା ଏକା ସମ୍ବନ୍ଧନ ସେ ପାଇ ପାରିବ ।

୧୮ । ଗୋଟିଏ କଣିକାର ସଂବେଗ p, ଗତିଜ ଶକ୍ତି K, ଗତିବେଗ v ଓ ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ m_0 । ଦେଖାଅ ଯେ,

$$\frac{pv}{K} = \frac{K/m_0c^2+2}{K/m_0c^2+1}$$

ପ୍ରମାଣ କର ଯେ, $K << m_0c^2$ ହେଲବେଳେ ଏହି ସମୀକରଣ ପୁରାତନ $K=\frac{1}{2}mv^2$ ହେବ ଏବଂ $K>>m_0c^2$ ହେଲାବେଳେ $K=mv^2$ ହେବ ।

୧୯ । ସୂର୍ଯ୍ୟରୁ ସବୁ ଦିଗରେ ସମପରିମାଣରେ ବିକିରଣ ହେଉଥିଲେ, ପୃଥିବୀଠାରେ ହାରାହାରି ସୌର ଧ୍ରୁବ 1400 w/m^2 ଓ ପୃଥିବୀ କକ୍ଷର ହାରାହାରି ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ $1{\cdot}5\times10^{11}m$ ବୋଲି ଧରି ସୂର୍ଯ୍ୟର ବସ୍ତୁତ୍ୱରୁ ପ୍ରତିଦିନ କେତେ କ୍ଷୟ ହେଉଅଛି ହିସାବ କର ।

ଉତ୍ତର : $3{\cdot}8\times10^{14}$ kg/day.

୨୦ । ଗୋଟିଏ ସମଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର Bକୁ ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗତି କରି ଗୋଟିଏ ବୃତ୍ତାସ୍ଥ ପଥରେ ବାଙ୍କିଗଲା । ଦେଖାଅ ଯେ, ଯଦି B ପ୍ରତି ବର୍ଗ ମିଟର ପ୍ରତି ୱେବରରେ, r ମିଟରରେ ଓ ଗତିଜ ଶକ୍ତି K କୁ meV ରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଏ, $Br=\sqrt{K^2+1.02K}/300$ ହେବ ।

୨୧ । (କ) ଗୋଟିଏ ବାଡ଼ି L_0 ଅକ୍ଷ x ସହିତ θ କୋଣ କରି S ରେ ସ୍ଥିର ଅଛି । ଦେଖାଅ ଯେ, S' ଫ୍ରେମରେ ଜଣେ ଦର୍ଶକ ଏହି ଦୈର୍ଘ୍ୟକୁ $L'=L_0\ (\cos^2\theta/\gamma^2 +\sin^2\theta)^{\frac{1}{2}}$ ଓ x ଅକ୍ଷ ସହିତ କୋଣ θ' କୁ $\tan\theta'$କୁ $\tan\theta'$କୁ $=\gamma\tan\theta$ ବୋଲି ଦେଖିପାରିବ ।

(ଖ) S ଫ୍ରେମରେ ଗୋଟିଏ କଣିକା v ବେଗରେ x ଅକ୍ଷ ସହିତ θ କୋଣ କରି ଗତି କରେ ।

ଉତ୍ତର : $$v'=\frac{\{v^2-2Vv\cos\theta+V^2-[(Vv\sin\theta)/c]^2\}^{\frac{1}{2}}}{1-(Vv\cos\theta)/c^2}$$

$$\tan\theta=\frac{\sqrt{1-v^2/c^2}\,v\sin\theta}{v\cos\theta-V}$$

୧୨ । ଦେଖାଅ ଯେ, କୌଣସି କଣିକାର S ଫ୍ରେମରେ ତ୍ୱରଣର ସଂଯୋଜକଗୁଡ଼ିକ a_x ଓ a_y , S' ଫ୍ରେମରେ ଅନୁରୂପ ତ୍ୱରଣ ଦେବ,

$$a_x' = \frac{(1 - V^2/c^2)^{\frac{3}{2}} a_x}{(1 - Vv_x/c^2)^3}$$

$$ଓ \quad a_y' = \frac{1 - V^2/c^2}{(1 - Vv_x/c^2)^2} \left(a_y + \frac{Vv_y/c^2}{1 - Vv_x/c^2} a_x \right)$$

୧୩ । ୧୯୦୬ରେ ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନ ଗୋଟିଏ କାଳ୍ପନିକ ପରୀକ୍ଷା ବର୍ଣ୍ଣନା କରିଥିଲେ । ଏ ପରୀକ୍ଷାରୁ ଦେଖାଇବା ଉଦ୍ଦେଶ୍ୟ ଥିଲା ଯେ, ବିକିରିତ ଶକ୍ତି ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ ଶକ୍ତିର ଅନୁରୂପ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ପରିମାଣ E/c^2 । ସେ ମନେ କରିଥିଲେ ଯେ, ମୋଟ ଶକ୍ତି E ଓ ସଂବେଗ E/c ର ଗୋଟିଏ ଫୋଟନ ଗୁଚ୍ଛ L ଦୈର୍ଘ୍ୟ ଓ m ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ସିଲିଣ୍ଡରର ଏକ ସୀମା ଗ୍ରାହିଲା । ଫୋଟନଗୁଡ଼ିକ ସିଲିଣ୍ଡରର ଦୈର୍ଘ୍ୟ ଅତିକ୍ରମ କରିବା ସମୟରେ ସିଲିଣ୍ଡରଟି ବିପରୀତ ଦିଗରେ ଗତି କଲା । ଏ ପ୍ରଣାଳୀ ଫୋଟନଗୁଡ଼ିକ ଅନ୍ୟ ମୁଣ୍ଡରେ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଶୋଷିତ ହେବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଲାଗି ରହିଲା । ଦେଖାଅ ଯେ, ଯଦି ଏହି ପୃଥକ୍ ସଂସ୍ଥାଟିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ କେନ୍ଦ୍ର ସ୍ଥିର ରହେ ଫୋଟନ-ଗୁଡ଼ିକ E/c^2 ବସ୍ତୁତ୍ୱ ପରିମାଣ ସିଲିଣ୍ଡରକୁ ଦେଇଥିବେ ।

୧୪ । ଯଦି ଦୁଇଟି କଣିକା ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ବଳ କେବଳ ସେମାନଙ୍କର ବ୍ୟବଧାନର ଫଳନ ହୋଇଥାଏ, ଦେଖାଅ ଯେ, ଗାଲିଲୀୟ ରୂପାନ୍ତରଣ ପାଇଁ ନିଉଟନଙ୍କ ଦ୍ୱିତୀୟ ନିୟମ $F = ma$ ଗୋଟିଏ ଅପରିବର୍ତ୍ତନୀୟ ।

୧୫ । ଯଦି ବ୍ୟତିକରଣମାପକ ଚଳପଥଗୁଡ଼ିକ ଦୈର୍ଘ୍ୟରେ ଭିନ୍ନ ହୁଅନ୍ତି ଓ ଯଦି ବ୍ୟତିକରଣମାପକର ଇଥର ତୁଳନାରେ ଗତିବେଗ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇଯାଏ, ତେବେ ଦେଖାଅ ଯେ, ଲରେଞ୍ଜ-ଫିଜ୍‌ଜେରାଲ୍ଡ ସଙ୍କୋଚନ ଫ୍ରିଞ୍ଜରେ ବିସ୍ଥାପନ ଦେଖାଇବ ।

ତୃତୀୟ ଅଧ୍ୟାୟ

ଆପେକ୍ଷିକବାଦ ଓ ଚତୁଃ-ଭେକ୍ଟର

ଆପେକ୍ଷିକବାଦରେ, ସ୍ଥାନ ଓ କାଳ ଆଉ ଦୁଇଟି ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ଧାରଣା ହୋଇ ନାହିଁ; ଏ ଦୁଇଟି ଏପରି ଭାବରେ ଜଡ଼ିତ ହୋଇଯାଇଅଛି ଯେ, ଗୋଟିଏ ସ୍ଥାନ-କାଳର ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ଚତୁଃବିମିତିକ ଧାରଣା ପରି ଅତି ଆବଶ୍ୟକ ଧାରଣା ସୃଷ୍ଟି କରିଅଛି । ଏପରି ଏକ ଚତୁଃବିମିତିକ ସ୍ଥାନରେ ପ୍ରଚଳିତ ଭୌତିକୀର ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ନିୟମ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟରୂପେ ସୁନ୍ଦର ଆକାରରେ ପ୍ରକାଶ ପାଇଥାଏ; ଗୋଟିଏ ଜଡ଼ ସଂସ୍ଥାରୁ ଆଉ ଗୋଟିଏ ଜଡ଼ ସଂସ୍ଥାକୁ ସ୍ଥାନାନ୍ତରଣ, ଅତ୍ୟନ୍ତ ସହଜ ହେଉଅଛି ।

3·1 ଘଟଣାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ବ୍ୟବଧାନ :

ଆମେ ଦ୍ୱିତୀୟ ଅଧ୍ୟାୟରେ ଦେଖିଥାଇ ଯେ, ଜଡ଼ ଫ୍ରେମ S ଓ S'ରେ ଦର୍ଶକ O O' ପରସ୍ପର ତୁଳନାରେ ଗତି କଲେ, ଦୁହେଁ ଦେଖୁଥିବା ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକୁ ସାଧାରଣତଃ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ସମୟ ଓ ସ୍ଥାନସହ ସଂଯୁକ୍ତ କରନ୍ତି । ଗୋଟିଏ ଘଟଣା କହିଲେ ଆମେ ବୁଝୁ—ଜଣେ ଦର୍ଶକ ଜାଣିପାରୁଥିବା କୌଣସି ଏକ ଭୌତିକ ବ୍ୟାପାର—ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ ଗୋଟିଏ ନଭରଶ୍ମିର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବାୟୁମଣ୍ଡଳର ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଅଣୁର ସହିତ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଘଟାଇ ଗୋଟିଏ ଫୋଟନ ସୃଷ୍ଟି କରିବା । O ପାଇଁ ଘଟଣାଟି ତିନୋଟି ସ୍ଥାନାଙ୍କ ଓ ସମୟ ଦେଇ ନିର୍ଦ୍ଦେଶ କରାଯାଇ ପାରିବ, ତେଣୁ ଚାରୋଟି ସ୍ଥାନାଙ୍କ (x_1, y_1, z_1, t_1) ଦ୍ୱାରା ଏହା କରାଯାଇ ପାରିବ ।

ତାପରେ ଦ୍ୱିତୀୟ ଘଟଣାଟି ବିଚାର କର, ଯୁଏକ ଗୋଟିଏ ପାୟନର ବିନାଶ । O, ଏଥିପାଇଁ (x_2, y_2, z_2, t_2) ସ୍ଥାନାଙ୍କଗୁଡ଼ିକ ଦେଉଅଛି । ଆମେ ଦୁଇ ଘଟଣା ମଧ୍ୟରେ ବ୍ୟବଧାନକୁ S_{12} ରାଶିଟି ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରିବା; ଏଠାରେ

$$s_{12}^2 = c^2(t_2 - t_1)^2 - (x_2 - x_1)^2 - (y_2 - y_1)^2 - (z_2 - z_1)^2 \qquad (୩.୧)$$

ଯଦି ଦର୍ଶକ O' ଏହା ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକୁ ଦେଖିଥାନ୍ତି, ସେ ସେଗୁଡ଼ିକୁ (x'_1, y'_1, z'_1, t'_1) ଓ (x'_2, y'_2, z'_2, t'_2) ସ୍ଥାନାଙ୍କଗୁଡ଼ିକ ଦ୍ୱାରା ନିର୍ଦ୍ଦେଶ କରିଥାନ୍ତି । ଦୁଇଟି ଘଟଣା ମଧ୍ୟରେ O ଓ O' ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ଭାବରେ ସମୟ ବ୍ୟବଧାନ ଦେଖିପାରିଲେ ବି ସ୍ଥାନରେ ସେମାନଙ୍କର ବ୍ୟବଧାନ ଉଭୟଙ୍କ ପାଇଁ ସମାନ ହେବ; ଜଡ଼ ଫ୍ରେମ୍‌ମାନଙ୍କରେ ସବୁ ଦର୍ଶକଙ୍କ ପାଇଁ ସାଧାରଣ ଭାବରେ ଏହା ଅପରିବର୍ତ୍ତନୀୟ ହୋଇଥାଏ ।

ଯେତେବେଳେ s_{12}^2 ଯୁକ୍ତ ହୁଏ, s_{12} ଗୋଟିଏ ପ୍ରକୃତ ସଂଖ୍ୟା ହୁଏ ଓ ସମୟ ସଦୃଶ ହୁଏ ବୋଲି କୁହାଯାଏ । ଗୋଟିଏ ସମୟ ସଦୃଶ ବ୍ୟବଧାନ ପାଇଁ, ଏପରି ଗୋଟିଏ ଜଡ଼ ଫ୍ରେମ ସର୍ବଦା ପାଇବା ସମ୍ଭବ ଦୁଇଟି ଘଟଣା ଗୋଟିଏ ସ୍ଥାନରେ ଘଟିଥାଏ । ଅର୍ଥାତ୍ x, y, zର ମୂଲ୍ୟ) । ତେବେ, ଏପରି ଗୋଟିଏ ଜଡ଼ ଫ୍ରେମ ପାଇବା ସମ୍ଭବ ନୁହେ ଯେଉଁଥିରେ କି ଦୁଇଟିଯାକ ଘଟଣା ଏକ ସମୟରେ ଘଟିଥିବ $(t_2 = t_1)$, କାରଣ ଏପରି ଏକ ଫ୍ରେମରେ s_{12}^2 ବିଯୁକ୍ତ ହେବ, ଏହି ପାରାଗ୍ରାଫର ପ୍ରଥମ ସର୍ତ୍ତର ବ୍ୟତିକ୍ରମ କରିବ ।

ଯଦି s_{12}^2 ବିଯୁକ୍ତ ହୁଏ, ବ୍ୟବଧାନଟି କାଳ୍ପନିକ ହେବ ଏବଂ ଏହାକୁ ସ୍ଥାନ ସଦୃଶ ବୋଲି କୁହାଯିବ । ଯେକୌଣସି ସ୍ଥାନ ସଦୃଶ ବ୍ୟବଧାନ ପାଇଁ, ଏପରି ଗୋଟିଏ ଜଡ଼ ଫ୍ରେମ ପାଇବା ସମ୍ଭବ ଯେଉଁଥିରେ କି ଦୁଇଟିଯାକ ଘଟଣା ଏକ ସମୟରେ ଘଟିବ, କିନ୍ତୁ ଦୁଇଟିଯାକ ଘଟଣା ଏକ ସ୍ଥାନରେ ଘଟିବା ଭଳି ଗୋଟିଏ ଫ୍ରେମ ପାଇବା ଅସମ୍ଭବ । ତେଣୁ ଗୋଟିଏ ସ୍ଥାନ ସଦୃଶ ଓ ସମୟ ସଦୃଶ ଗୁଣ ଥିବା ବ୍ୟବଧାନ ଜଡ଼ ଫ୍ରେମଗୁଡ଼ିକ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେନାହିଁ । ଅନୁଚ୍ଛେଦ ୨-୬ ଚିତ୍ର ୨.୫ରେ "ଭବିଷ୍ୟତ" ଚିହ୍ନିତ ଓ "ଅତୀତ" ଚିହ୍ନିତ ଅଞ୍ଚଳମାନଙ୍କରେ ସମସ୍ତ ସମୟ ସମୟ ସଦୃଶ ବ୍ୟବଧାନମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ମୂଳବିନ୍ଦୁରୁ ଅଲଗା ହୋଇଅଛି; କିନ୍ତୁ ଯେଉଁଗୁଡ଼ିକ "ବର୍ତ୍ତମାନ" ଚିହ୍ନିତ ଅଞ୍ଚଳରେ ରହିଅଛି, ସେଗୁଡ଼ିକ ମୂଳବିନ୍ଦୁରୁ ସ୍ଥାନସଦୃଶ ବ୍ୟବଧାନ ଦ୍ୱାରା ପୃଥକ ହୋଇଅଛି ।

3·2 ଚତୁଃଭେକ୍ଟର :

$w = ict$ ($i = \sqrt{-1}$) ଆମେ ବ୍ୟବହାର କରିବା ଓ ସମୀକରଣ (୩·୧)କୁ ନିମ୍ନ ଆକାରରେ ପୁଣି ଥରେ ଲେଖିବା,

$$-s_{12}^2 = (x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2 + (w_2 - w_1)^2 \qquad (୩·୧କ)$$

ଏଠାରେ x, y, z ଓ w କୁ ଆମେ ଚତୁଃବିମିତିକ ମୂକ୍ଳିଡ଼ୀୟ "ସ୍ଥାନ"ରେ କାର୍ତ୍ତିଜୀୟ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ବୋଲି ନେବା, ଏଥିରେ $\sqrt{-s_{12}^2}$ କୁ (x_1, y_1, z_1, w_1) ଓ (x_2, y_2, z_2, w_2) ବିନ୍ଦୁ ଦୁଇଟି ମଧ୍ୟରେ "ଦୂରତା" ବୋଲି ବିଚାର କରିବା । ଅନୁସାରି "ବିସ୍ଥାପନ" ଗୋଟିଏ ଭେକ୍ଟର ରୂପେ ବିଚାର କରାଯାଇ ପାରିବ--ଏହାର ସଂଯୋଜକ ଚତୁଃବିମିତିକ ସ୍ଥାନରେ ହେବ $x_2 - x_1$, $y_2 - y_1$, $z_2 - z_1$ ଓ $w_2 - w_1$ । ଏପରି ଗୋଟିଏ ରାଶିକୁ ସାଧାରଣତଃ ଚତୁଃଭେକ୍ଟର ବା ଗୋଟିଏ ବିଶ୍ୱ-ଭେକ୍ଟର ବୋଲି କୁହାଯାଏ ।

ଯଦି S ଫ୍ରେମରେ ଗୋଟିଏ ଘଟଣାର ସ୍ଥାନାଙ୍କଗୁଡ଼ିକ x, y, z, w ହୁଏ, ଏହି ରାଶିଗୁଡ଼ିକୁ ଏହି ଘଟଣା ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ଚତୁଃବିମିତିକ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ଭେକ୍ଟରର ସଂଯୋଜକ ରୂପେ ବିଚାର କରାଯାଇ ପାରିବ । ତେଣୁ ଯଦି $\vec{I_x}$, $\vec{I_y}$, $\vec{I_z}$ ଓ $\vec{I_w}$ x, y, z ଏକ ଦିଗରେ ଏକକ ଭେକ୍ଟର ହୁଅନ୍ତି;

$$\mathbf{r} = \vec{I_x}\, x + \vec{I_y}\, y + \vec{I_z}\, z + \vec{I_w}\, w \text{ ଓ } r^2 = \mathbf{r}\cdot\mathbf{r} = x^2 + y^2 + z^2 + w^2$$

କାରଣ $\vec{I_x}\cdot\vec{I_x} = 1$, $\vec{I_x}\cdot\vec{I_y} = 0$ ପ୍ରଭୃତି ହୋଇଥାଏ । ଠିକ୍ ଯେପରି ସାଧାରଣ ତ୍ରିବିମିତିକ ଭେକ୍ଟର ପାଇଁ ହୋଇଥାଏ । ଚତୁ-ଭେକ୍ଟର **r**ର ପରିମାଣ ହୁଏ

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2 + w^2}$$

ଆମେ ଯଦି x ଦିଗରେ V ବେଗରେ ଗତି କରୁଥିବା S' ଫ୍ରେମରେ **r** ଭେକ୍ଟରର ସଂଯୋଜକଗୁଡ଼ିକୁ ବାହାର କରିବାକୁ ଇଚ୍ଛା କରୁ (ଏଥିରେ ସମସ୍ତ ଦୁଇ ଫ୍ରେମରେ ମୂଳବିନ୍ଦୁ ଦୁଇଟି ମିଳିତ ହେବା ସମୟରୁ ଗଣନା କରାଯାଉ) (ଅନୁଃ ୨·୧ ଓ ୨·୭),

ଆମେ ଲରେଞ୍ଜ ସ୍ଥାନାନ୍ତରଣ ୬ ସମୀକରଣ (୨'୪) ବ୍ୟବହାର କରୁ । ଏହା ମାଟ୍ରିକ୍ସ ଆକାରରେ ଭିନ୍ନମତେ ଲେଖାଯାଇଥାଏ ।

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ w' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma_T & 0 & 0 & i\beta_T\gamma_T \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -i\beta_T\gamma_T & 0 & 0 & \gamma_T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ w \end{bmatrix}$$

ଏଠାରେ $\gamma_T = 1/\sqrt{1-V^2/c^2}$ (୩'୨)

ଏବଂ $\beta_T = V/c$ ।

ଏହା ଗୋଟିଏ ପ୍ରଶ୍ନ ଆକାରରେ ଛାଡ଼ି ଦିଆଗଲା (ପ୍ରଶ୍ନ 1)--ଦେଖାଅ ଯେ, ସମୀକରଣ (୩'୨) ସମୀକରଣ (୨-୪)ର ଅନୁରୂପ ।

ଲରେଞ୍ଜ ରୂପାନ୍ତରଣକୁ ଅନ୍ୟ ଏକ ଦିଗରୁ ଦେଖି ହେବ ବୋଲି ମିନ୍‌କୋସ୍କି ଆବିଷ୍କାର କରିଥିଲେ । ଗୋଟିଏ ଚତୁଃଭେକ୍ଟର ଗୋଟିଏ ଚତୁଃବିମିତିକ x, y, z, w ସ୍ଥାନରେ x ଓ w ଅକ୍ଷର ଗୋଟିଏ କାଳ୍ପନିକ କୋଣ $\phi = \tan^{-1} i\beta_T$ ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଘୂରିଗଲେ ଯେଉଁ ସମୀକରଣଗୁଡ଼ିକ ମିଳିବ ଗାଣିତିକ ସ୍ତରରେ ସମୀକରଣ (୨'୪) ହେଲା ସେହି ସମୀକରଣ । ଯେ କୌଣସି ବିନ୍ଦୁ P ର (x, w) ସ୍ଥାନାଙ୍କ ହେଲେ ଅନୁରୂପ ସ୍ଥାନାଙ୍କ $(x'; w')$ ଚିତ୍ର (୩-୧) ରୁ ଓ ବିଶ୍ଳେଷଣାତ୍ମକ ଜ୍ୟାମିତିରୁ ହେଲା

$$x' = x \cos\phi + w \sin\phi$$

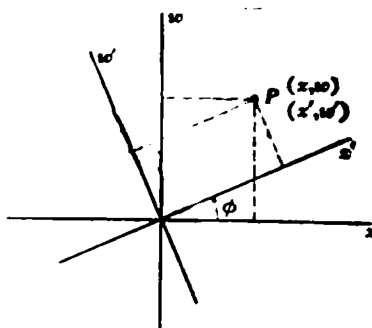
$$w' = w \cos\phi - x \sin\phi$$

କିନ୍ତୁ ଲରେଞ୍ଜ ରୂପାନ୍ତରଣ [ସମୀକରଣ (୨'୪) ରେ $w = ict$] ରୁ ମିଳେ

$$x' = \gamma_T x + i\beta_T\gamma_T w$$

$$w' = \gamma_T w - i\beta_T\gamma_T x$$

$$\cos\phi = \gamma_T = \frac{1}{\sqrt{1-V^2/c^2}}$$



[ଚିତ୍ର ୩·୧ କୋଣ ø ମଧ୍ୟ ଦେଇ x ଓ w ସ୍ଥାନାଙ୍କ ଅକ୍ଷମାନଙ୍କର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ]

ଏ ଦୁଇ ହୁଳ ସମୀକରଣରୁ ତୁଳନା କଲେ ମିଳିବ

ଏବଂ $\sin \phi = i\beta_T \gamma_T$

$$= \frac{iV}{c\sqrt{1-V^2/c^2}}$$

ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ଚତୁଃ-ଭେକ୍ଟର ସାଙ୍ଗକୁ ଆପେକ୍ଷିକ ଭୌତିକରେ ଅନ୍ୟ ଅନେକ ଦରକାରୀ ଚତୁ-ଭେକ୍ଟର ଦେଖାଯାଇଥାଏ । ଏଠାରେ ଗୋଟିଏ ଚତୁ-ଭେକ୍ଟର ସଂଜ୍ଞା ହେଲା— ଗୋଟିଏ ରାଶି ଯାହାର ସଂଯୋଜନଗୁଡ଼ିକ (x, y, z, w) ଲରେଞ୍ଜ ରୂପାନ୍ତରଣରେ ଯେପରି ରୂପାନ୍ତରିତ ହୋଇଥାଏ, ସେହିପରି ରୂପାନ୍ତରିତ ହୋଇଥାଏ । ତେଣୁ $\vec{A'}$ ହେଲା ଗୋଟିଏ ଚତୁଃ-ଭେକ୍ଟର, ଏହା S ରୁ S' କୁ ଯିବାବେଳେ $\vec{A}$ ରେ ରୂପାନ୍ତରିତ ହେବାବେଳେ $\vec{r}$ ପରି ରୂପାନ୍ତରିତ ହେବ, ଅର୍ଥାତ୍

$$\begin{bmatrix} A'_x \\ A'_y \\ A'_z \\ A'_w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma_T & 0 & 0 & i\beta_T\gamma_T \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -i\beta_T\gamma_T & 0 & 0 & \gamma_T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_x \\ A_y \\ A_z \\ A_w \end{bmatrix}$$

ଗୋଟିଏ ଚତୁର୍ଥ-ଭେକ୍ଟର A ର ପରିମାଣ ଗୋଟିଏ ଅଖଣ୍ଡୀ ଅପରିବର୍ତ୍ତନୀୟ ଅର୍ଥାତ୍ ଏହା ସମସ୍ତ ଜଡ଼ ଫ୍ରେମ୍‌ରେ ସମାନ ।

ଯଦି A ଓ B ଚତୁର୍ଥ-ଭେକ୍ଟର ପ୍ରକାଶ କରିଥାଏ $\vec{A} = I_x A_x + I_y A_y + \vec{I}_z A_z + \vec{I}_w A_w$

ଏବଂ $B = \vec{I}_x B_x + \vec{I}_y B_y + \vec{I}_z B_z + \vec{I}_w B$;

ଅଖଣ୍ଡୀ ଗୁଣନ $\mathbf{A} \cdot \mathbf{B} = A_x B_x + A_y B_y + A_z B_z + A_w B_w$

କିନ୍ତୁ କ୍ରସ୍ ଗୁଣନ $\mathbf{A} \times \mathbf{B}$ ଗୋଟିଏ ଭେକ୍ଟର ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇ ପାରିବ ନାହିଁ, ଏହାକୁ ଗୋଟିଏ ଅଣ୍ଟାସିମେଟ୍ରିକ୍ ଟେନ୍‌ସର ϕ ରୂପେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଏ, ଏହାର ସଂଯୋଜକଗୁଡ଼ିକ ନିମ୍ନ ମାଟ୍ରିକ୍ସ ଡିଟରମିନାଣ୍ଟ ହୁଅନ୍ତି,

$$\begin{bmatrix} A_x & A_y & A_z & A_w \\ B_x & B_y & B_z & B_w \end{bmatrix}$$

ବା

$$\mathbf{A} \times \mathbf{B} \equiv \phi \equiv \phi \begin{vmatrix} 0 & \phi_{xy} & \phi_{xz} & \phi_{xw} \\ \phi_{yx} & 0 & \phi_{yz} & \phi_{yw} \\ \phi_{zx} & \phi_{zy} & 0 & \phi_{zw} \\ \phi_{wx} & \phi_{wy} & \phi_{wz} & 0 \end{vmatrix} \qquad (୩.୩)$$

ଏଠାରେ $\phi_{xy} = \phi_{yx} = A_x B_y - A_y B_x$ ପ୍ରଭୃତି ।

3·3 ପ୍ରକୃତ ସମୟ ଓ ଚତୁର୍ଥସଂବେଗ :

ବିଶେଷ ଆପେକ୍ଷିକବାଦର ଗୋଟିଏ ଅନୁମାନ ହେଲ, ପ୍ରକୃତର ଯେଉଁ ନିୟମ ଗୁଡ଼ିକ ବୀଜବଦ୍ଧ ଭାବରେ ଗଢ଼ାଯାଇଅଛି, ସେଗୁଡ଼ିକ ଯେକୌଣସି ଦୁଇଟି ଜଡ଼ ଫ୍ରେମରେ ସମାନ; ଫ୍ରେମର ସ୍ଥାନାନ୍ତରଣ ଗତି ଫଳରେ କୌଣସି କଥା ସେଥି ମଧ୍ୟରେ ରହିବ

ନାହିଁ । ଯଦି ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁ ଉପରେ କାର୍ଯ୍ୟ କରୁଥିବା ପ୍ରଚଳନ ବଳ $\vec{F}$ ହୁଏ, $\vec{F} = \frac{d\vec{P}}{dt}$ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ନିଉଟନ ଦ୍ୱିତୀୟ ନିୟମ ଏହି ଅନୁମାନକୁ ତୃପ୍ତ କରି ପାରିବ ନାହିଁ । ଏପରି କି ଆପେକ୍ଷିକୀୟ ବସ୍ତୁର ପରିବର୍ତ୍ତନ ଯଦି ଏଥିରେ କରାଯାଏ, ଏ ନିୟମ ଲରେଞ୍ଜ ରୂପାନ୍ତରଣରେ ଏ ଆକାରରେ ରହିବ ନାହିଁ । ନିଉଟନଙ୍କ ଦ୍ୱିତୀୟ ନିୟମରେ $\vec{P}$ କୁ ସମୀକରଣ (୬·୧୦) କୁ ନେଇ ଲେଖିଲେ ମିଳିବ,

$$\vec{F} = \frac{d\vec{P}}{dt} = \frac{m_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}} \left(\frac{d\vec{V}}{dt} + \frac{v\frac{dv}{dt}}{c^2-v^2}\vec{V}\right) \qquad (୬·୪)$$

ଯେତେବେଳେ ବଳର ଦିଗ ଗତିବେଗର ଦିଗଠାରୁ ଭିନ୍ନ ହୁଏ, ବେଗ ଧ୍ରୁବ ନ ରହିଲେ ତ୍ୱରଣ ବଳ ଦିଗରେ ହେବ ନାହିଁ । (ଗୋଟିଏ ସମଚୁମ୍ବକୀୟ ପ୍ରେରଣ $\vec{B}$ ପ୍ରତି ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ଗତି କରୁଥିବା ଗୋଟିଏ କଣିକା ପାଇଁ ଏପରି ହୋଇଥାଏ । ଏହା ଗୋଟିଏ ଅତି ଗୁରୁତ୍ୱପୂର୍ଣ୍ଣ ବିଷୟ ।) ଆଉ ମଧ୍ୟ ଯେତେବେଳେ ବଳଟି ଗତିବେଗର ଦିଗରେ ଥାଏ, ବଳର ତ୍ୱରଣ-ପ୍ରତି ଅନୁପାତ $m_0/(1-v^2/c^2)^2$ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ; ଏହାକୁ ସମସ୍ତ ସମୟରେ ଅନୁଲମ୍ବୀୟ ବସ୍ତୁତ୍ୱ କୁହାଯାଏ । ଯେତେବେଳେ ବଳ ଗତିବେଗ ପ୍ରତି ଲମ୍ବ ଭାବରେ ଥାଏ, ବଳ / ତ୍ୱରଣ ଅନୁପାତ ହୁଏ $m_0/(1-v^2/c^2)^{\frac{1}{2}}$, ଏହାକୁ ବେଳେବେଳେ ଅନୁପ୍ରସ୍ଥ ବସ୍ତୁତ୍ୱ କୁହାଯାଏ । ତ୍ରିବିମିତିକ ସ୍ଥାନର ସ୍ଥାନାଙ୍କ ଓ ସମୟକୁ ନେଇ ଗଢ଼ାଯାଇଥିବା ଅସୁବିଧାଜନକ ପ୍ରଣାଳୀରେ, ଆମେ ଗୋଟିଏ ପ୍ରହେଳିକା ପାଉ ଯେ, ଗୋଟିଏ ନିଜସ୍ୱ ଗୁଣ ଫ୍ରେମ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିଥାଏ ଏବଂ ଅଧିକା ପ୍ରହେଳିକାମୟ ହେଲା ଯେ, ବଳ ରୂପ ତ୍ୱରଣଗୁଡ଼ିକୁ ଜଟିଳ କରି ଦେଇଥାଏ । ଚତୁଃ-ଭେକ୍ଟର ପ୍ରଣାଳୀରେ ଏ ଅସୁବିଧାଗୁଡ଼ିକୁ ଦୂର କରିବା ସମ୍ଭବ ଓ ଗୋଟିଏ ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ସଣଅସ୍ପର୍ଶୀ ପ୍ରଣାଳୀରେ ପହଞ୍ଚ ହୋଇଥାଏ ।

ଅନୁ ୩-୪ ରେ ନିଉଟନଙ୍କ ଦ୍ୱିତୀୟ ନିୟମକୁ ଆଇନଷ୍ଟାଇନଙ୍କର ଅନୁମାନ ସହ ମିଳୁଥିବା ଗୋଟିଏ ଉପଯୁକ୍ତ ଚତୁଃ-ଭେକ୍ଟରରେ ପ୍ରକାଶ କରିବାର ଗୋଟିଏ ପ୍ରଣାଳୀ ବର୍ଣ୍ଣନା କରିବା । କିନ୍ତୁ ପ୍ରଥମରୁ ଆମେ ପ୍ରକୃତ ସମୟ τ ବ୍ୟବହାର କରିବା (ପ୍ରକୃତ ସମୟ ହେଲା ଯେଉଁ ଫ୍ରେମ୍‌ରେ ବସ୍ତୁଟି ତାତ୍‌କାଳିକ ସ୍ଥିର ଥାଏ ସେହି ଫ୍ରେମରେ ସମୟ) । ଏହି ବିଶେଷ ଫ୍ରେମ୍ S'ରେ ସ୍ଥାନୀୟ ସ୍ଥାନାଙ୍କ x', y', z', ଅତି କ୍ଷୁଦ୍ର ସମୟ ତାରତମ୍ୟ dt' ମଧ୍ୟରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୁଏନାହିଁ । ତେଣୁ ବ୍ୟବଧାନର ଅପରିବର୍ତ୍ତୀୟତାରୁ [ସମୀକରଣ (୩ ୧)] ଆମେ ପାଇବା,

$$c^2\, d\tau^2 = c^2\, dt'^2 = c^2\, dt^2 - (dx)^2 - (dy)^2 - (dz)^2$$

ବା

$$d\tau = \sqrt{\frac{(dt)^2 - (dx)^2 + (dy)^2 + (dz)^2}{c^2}}$$

$$= dt\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \qquad (୩\cdot୫)$$

ଏଠାରେ x, y, z, t ଦର୍ଶକ o ର ଜଡ଼ ଫ୍ରେମ S ରେ ମାପ କରାଯାଇଅଛି । $cd\tau$ ଗୋଟିଏ ବ୍ୟବଧାନ ହୋଇ ଥିବାରୁ, ସମସ୍ତ ଜଡ଼ ଫ୍ରେମରେ ପ୍ରକୃତ ସମୟ $d\tau$ ସମାନ ହୋଇଥାଏ । ଗୋଟିଏ ସାଧାରଣ ଦେଶକାଳିକ ସ୍ଥାନରେ ହେବା ପରି ଯେଉଁ ରାଶିର ସବୁ ଜଡ଼ ଫ୍ରେମରେ ସମାନ ମୂଲ୍ୟ ହୁଏ, ତାକୁ ଅଣବଦଳି କହିବା; ତେଣୁ ଆମେ କହୁ ଯେ $d\tau$ ଗୋଟିଏ ଲରେଞ୍ଜ ଅଣବଦଳି । ଯେତେବେଳେ s ରେ ସମୟ ବ୍ୟବଧାନ $t_2 - t_1$ ହୁଏ, ଅନୁରୂପ ପ୍ରକୃତ ସମୟ ବ୍ୟବଧାନ ହେଲା,

$$\tau_2 - \tau_1 = \int_{t_1}^{t_2} dt\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}} \qquad (୩\cdot୫କ)$$

ଏଠାରେ ତ୍ୱରଣିତ ବସ୍ତୁ ପାଇଁ v ହେଲା ସମୟ t ର ଗୋଟିଏ ଫଳନ । ସମୀକରଣ (୩-୧କ)ରୁ ଦେଖାଯିବ ଯେ, ଗୋଟିଏ ତ୍ୱରଣିତ ବସ୍ତୁର ପ୍ରକୃତ ସମୟ ବ୍ୟବଧାନ, ଯେ କୌଣସି ଜଡ଼ ଫ୍ରେମରୁ ଗତିକୁ ଦେଖିଲେ, ସେହି ଫ୍ରେମର ବ୍ୟବଧାନଠାରୁ କମ୍ ହେବ ।

ଆମେ ବର୍ତ୍ତମାନ ବସ୍ତୁଟିର ଚତୁଃଭେକ୍ଟର **u** କୁ ଏହାର ଚତୁଃ-ଭେକ୍ଟର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧର **r** ର ପ୍ରକୃତ ସମୟ τ ଅନୁସାରେ ଅବକଳନ ଭାବରେ ସଂଜ୍ଞାୟିତ କରିବା,

$$\mathbf{u} = \frac{d\mathbf{r}}{d\tau} = \frac{d\mathbf{r}}{dt}\,\frac{dt}{d\tau} \qquad (୩.୭)$$

$$= \left(\vec{I}_x \frac{dx}{dt} + \vec{I}_y \frac{dy}{dt} + \vec{I}_z \frac{dz}{dt} + \vec{I}_w \frac{dw}{dt}\right) \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

ଏଠାରେ v^2 ହେଲା ସାଧାରଣ ଗତିବେଗର ବର୍ଗ । ତେଣୁ $u_x = \gamma v_x$; ଚତୁ-ଗତିବେଗର ସ୍ଥାନୀୟ ସଂଯୋଜନଗୁଡ଼ିକ ହେଲା ସାଧାରଣ ଗତିବେଗର γ ଗୁଣ, କିନ୍ତୁ ଚତୁର୍ଥ ସଂଯୋଜକଟି $i\gamma c$ ।

ଯେକୌଣସି କଣିକାର ଚତୁ-ସଂବେଗ **P** ହେଲା ଚତୁଃଭେକ୍ଟର **u** ଓ ପ୍ରକୃତ ବସ୍ତୁତ୍ୱ m_0 ର ଗୁଣଫଳ । ମନେରଖ ଯେ ବିଶେଷଣ 'ପ୍ରକୃତ'ର ଅର୍ଥ ହେଲା ଯେଉଁ ଫ୍ରେମ୍‌ରେ ବସ୍ତୁଟି ତାତ୍କାଳିକ ସ୍ଥିର ରହେ ସେହି ଫ୍ରେମ ଅନୁସାରେ କୌଣସି ବସ୍ତୁର ପ୍ରକୃତ ବସ୍ତୁତ୍ୱ m_0 , ପ୍ରକୃତ ଦୈର୍ଘ୍ୟ L_0 ଓ ପ୍ରକୃତ ସମୟ τ ସବୁଗୁଡ଼ିକ ଲରେଞ୍ଜ ଅଣବଦଳି; ଏହିଠାରୁ ସେଗୁଡ଼ିକର ଆବଶ୍ୟକତା ମିଳିଯାଏ ।

$$\mathbf{P} = m_0\,\mathbf{u} = m_0\gamma\,(\vec{I}_x v_x + \vec{I}_y v_y + \vec{I}_z v_z + \vec{I}_w ic) \qquad (୩.୭)$$

ସଂଜ୍ଞାରୁ ଆମେ ଦେଖୁ ଯେ, ସ୍ଥାନୀୟ ସଂଯୋଜକଗୁଡ଼ିକ ସାଧାରଣ ସଂବେଗର ସଂଯୋଜକ । ଚତୁର୍ଥ ସଂଯୋଜକଟି $im_0\gamma c\ i = (mc^2/c)\frac{iE}{c}$ ଏଠାରେ E ହେଲା ବସ୍ତୁଟିର ମୋଟ ଶକ୍ତି [ସମୀକରଣ (୨.୧୩)] । ତେଣୁ ସଂବେଗ ଚତୁଃଭେକ୍ଟରର ସମୟ ସଂଯୋଜକ ହେଲା ଶକ୍ତି ଗୁଣନ $\sqrt{-1}/c$ । ଯେତେବେଳେ କେହି କୌଣସି ସ୍ଥିର ଫ୍ରେମ S ରୁ କୌଣସି

ଗତିଶୀଳ ଫ୍ରେମ S' କୁ ରୂପାନ୍ତରଣ କଲେ, ଚତୁଃ-ସଂବେଗ ଗୋଟିଏ ଚତୁ-ଭେକ୍ଟର ଭାବେ ରୂପାନ୍ତରିତ ହୁଏ; ସମୀକରଣ (୩° ୨କ) ରୁ ମିଳେ

$$p'_x = \gamma_T \left(p_x \frac{VE}{c^2} \right) \qquad p'_y = p_y \qquad p'_z = p_z \qquad (୩°୮)$$

$$E' = \gamma_T (E - Vp_x)$$

ଚତୁଃ-ସଂବେଗର ପରିମାଣ ହେଲା $(\vec{P} \cdot \vec{P})^{\frac{1}{2}} = im_o c$ । ପ୍ରକୃତରେ, ଯେ କୌଣସି ଦୁଇଟି ଚତୁଃ-ଭେକ୍ଟରର ଡଟ୍ ଗୁଣନ ଗୋଟିଏ ଅଣଡଟି ଅପରିବର୍ତ୍ତିନୀୟ । ଆଉ ମଧ୍ୟ $\mathbf{P} \cdot \mathbf{P} = p^2 - E^2/c^2 = -m_o c^2$, ଏହା ଗୋଟିଏ ଭିନ୍ନ ଆକାରରେ ସମୀକରଣ (୨°୯୫) । ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁର ସବୁ ଜଡ଼ ଫ୍ରେମରେ ସମାନ ହେଲେ ମଧ୍ୟ, ସଂବେଗ **P** ଓ ମୋଟ ଶକ୍ତି E ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ହୋଇଥାଏ ।

ଚତୁଃ-ସଂବେଗର ଧାରଣା ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ତରଙ୍ଗର ପ୍ରଭାବର ସମୀକରଣ ଗୁଡ଼ିକ ବାହାର କରିବାରେ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇପାରେ । ଶକ୍ତି $h\nu$ ର ଓ ସଂବେଗ $\vec{I}\left(\frac{h\nu}{c}\right)$ର ଗୋଟିଏ ଫୋଟନ ବିଷୟ କର, ଏଠାରେ $\vec{I}$ ହେଲା ଫ୍ରେମ S ରେ ଗତି ଦିଗରେ ଗୋଟିଏ ଏକକ ଭେକ୍ଟର । $\vec{I}$ ଓ x ଅକ୍ଷ ମଧ୍ୟରେ କୋଣ θ ହେଉ ଏବଂ $\vec{I}$, xy ସମତଳରେ S' ଫ୍ରେମ Sର x ଅକ୍ଷରେ **V** ଗତିବେଗ ଗତି କରୁଅଛି । ଫୋଟନର ଚତୁ-ସଂବେଗର ସଂଯୋଜକଗୁଡ଼ିକ ହେଲା,

$$\begin{bmatrix} p_x' \\ p_y' \\ p_z' \\ \frac{iE'}{c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h\nu' \frac{\cos\theta'}{c} \\ h\nu' \frac{\sin\theta'}{c} \\ 0 \\ \frac{ih\nu'}{c} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma_T & 0 & 0 & i\beta_T\gamma_T \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ -i\beta_T\gamma_T & 0 & 0 & \gamma_T \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h\nu \frac{\cos\theta}{c} \\ h\nu \frac{\sin\theta}{c} \\ 0 \\ \frac{ih\nu}{c} \end{bmatrix} \qquad (୩°୯)$$

ଏଠାରେ $\gamma_T = 1/\sqrt{1-\frac{V^2}{c^2}}$ ଓ $\beta_T = \frac{V}{c}$ ଏଥିରୁ

$$\nu' \cos\theta' = \gamma_T\, \nu \left(\cos\theta - \frac{V}{c}\right) \qquad (୩.୧୦କ)$$

$$\nu' \operatorname{Sin}\theta' = \nu \operatorname{Sin}\theta \qquad (୩.୧୦ଖ)$$

ଓ

$$\nu' = \gamma_T \nu \left(1 - V\frac{\cos\theta}{c}\right) \qquad (୩.୧୧କ)$$

$$\tan\theta' = \frac{\operatorname{Sin}\theta}{\gamma_T\,(\cos\theta - V/c)} \qquad (୩.୧୧ଖ)$$

ସାଧାରଣ ଭାବରେ, $\theta' \neq 0$ ଏବଂ ଧ୍ୱନି ତରଙ୍ଗମାନଙ୍କ ପରି ନ ହୋଇ $\theta = 90°$ ପାଇଁ ଏକ ଡପ୍ଳର ବିସ୍ଥାପନ ଦେଖାଦେବ । ଏହି ଅନୁପ୍ରସ୍ଥ ଡପ୍ଳର ପ୍ରଭାବ S′ ଓ Sରେ ଗୋଟିକରେ ଅନ୍ୟଟିରୁ ଦେଖିଲେ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ହାରରେ ଘଣ୍ଟା ଚାଲୁଥିବାରୁ ଘଟିଥାଏ ।

3·4 ଆପେକ୍ଷିକୀୟ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ :

ପୁରାତନ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀରେ ଶକ୍ତିର ସଂରକ୍ଷଣ ଓ ସଂବେଗର ସଂରକ୍ଷଣ ହେଲେ ପ୍ରଧାନ ନିୟମ । ଆପେକ୍ଷିକୀୟ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀରେ ଗୋଟିଏ କଣିକାର ଶକ୍ତି ଚତୁଃ-ଭେକ୍ଟରର ସମୟ ସଂଯୋଜକ ଗୁଣନ $c/\sqrt{-1}$ ବୋଲି ମନେ କରାଯାଇପାରେ । ସଂବେଗ ସଂରକ୍ଷଣ ଓ ଶକ୍ତି ସଂରକ୍ଷଣ ଗୋଟିଏ ଚତୁଃ-ସଂବେଗର ସ୍ଥାନୀୟ ଓ କାଳ ସମ୍ପର୍କିତ ବିଭବ ଭାବରେ ମନେ କରାଯାଇପାରେ । କଣିକାଟି ଉପରେ ବାହାରୁ କୌଣସି ପରିଣାମୀ ବଳ ନଥିଲେ; P_x, P_y, P_z ଓ E ସମସ୍ତେ ଗୋଟିଏ ଧ୍ରୁବ । ଯେତେବେଳେ N କଣିକା ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଘଟାନ୍ତି ବା କୌଣସି ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ମଣ୍ଡଳରେ ବିନାଶ ହୁଅନ୍ତି, ସଂଯୋଜକ ଓ ଶକ୍ତି ଦୁହିଁଙ୍କର ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମ ନିମ୍ନ ସମ୍ପର୍କରେ ଅନ୍ତର୍ନିହିତ ରହେ,

$$\left(\sum_{i=1}^{Ni} \vec{P}_i\right)_{\text{initial}} = \left(\sum_{i=1}^{Ni} \vec{P}_i\right)_{\text{final}} \qquad (୩.୧୨)$$

ଏଠାରେ $\vec{P}_i$ ହେଲା i ତମ କଣିକାର ଚତୁଃ-ସଂବେଗ ।

କଣିକା ମଣ୍ଡଳୀର (ଯଥା—ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁ) ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ M_oର ସଂଜ୍ଞା ବସ୍ତୁତ୍ୱ କେନ୍ଦ୍ରିକ ଫ୍ରେମରେ ମଣ୍ଡଳର ମୋଟ ଶକ୍ତିକୁ c^2 ଦ୍ୱାରା ଭାଗ କଲେ ମିଳୁଥିବା ଭାଗଫଳ । ତେଣୁ, ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ନଘଟାଉଥିବା କଣିକାମାନଙ୍କର ଗୋଟିଏ ମଣ୍ଡଳ ପାଇଁ (ଯଥା—କୌଣସି ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଜନିତ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ନଥାଇ ମୁକ୍ତ ଭାବରେ ଗତି କରୁଥିବା) ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ M_o, କଣିକାମାନଙ୍କର ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱମାନଙ୍କ ଯୋଗଫଳଠାରୁ ବସ୍ତୁତ୍ୱକେନ୍ଦ୍ରିକ ମଣ୍ଡଳରେ ଗତିଜ ଶକ୍ତିର $1/c^2$ ଗୁଣ ଅଧିକ । କିନ୍ତୁ କଣିକାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଯେତେବେଳେ ଆକର୍ଷଣୀୟ ବଳ ଥାଏ, ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାରୁ ଜାତ ବିଯୁକ୍ତ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି କଣିକାଗୁଡ଼ିକୁ ଗୋଟିଏ $M_o < \Sigma_i(m_o)_i$ ବିଶିଷ୍ଟ ମିଶ୍ର ବସ୍ତୁରେ ବାନ୍ଧି ରଖିପାରେ ।

ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁ ପାଇଁ ତାରତମ୍ୟ $\Delta M = M_o - \Sigma_i (m_o)_i$ କୁ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବ୍ୟବଧାନ କୁହାଯାଏ । ΔMc^2 କୁ ପରମାଣୁର ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତି କୁହାଯାଏ । ପରମାଣୁଟିକୁ ଯେତେ ବାଟରେ ଭାଙ୍ଗିଲେ ΔM ବିଯୁକ୍ତ ହୁଏ, ସେଥିପାଇଁ ପରମାଣୁଟି ସ୍ଥାୟୀ ହୋଇ ରହେ । ଯଦି କୌଣସି ପ୍ରକାରରେ ଭାଙ୍ଗିବାରେ ΔM ଯୁକ୍ତ ହୁଏ, ସେଥିପାଇଁ ପରମାଣୁଟି ଆପେ ଆପେ ଭାଙ୍ଗିଯିବାର ସମ୍ଭାବନା ବହୁତ ରହେ । ଏହି ଗୁଣ ପାରମାଣିକ ଓ ନଉକ୍ଲିୟର ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନରେ ବହୁତ ଦରକାର ହୋଇଥାଏ ।

"ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଶକ୍ତିର ଏକ ରୂପ" ଏ ଉକ୍ତି ଅନେକ ସମୟରେ କରାଯାଇଥାଏ ଓ ଅନେକ ପ୍ରଶ୍ନରେ ସଫଳତାର ସହିତ ପ୍ରୟୋଗ କରାଯାଇଥାଏ । କିନ୍ତୁ କେତେକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଏହା ସ୍ପଷ୍ଟ ନୁହେ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ଯେତେବେଳେ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ୟୁରାନିୟମର 236 ପରମାଣୁ ନଉକ୍ଲିୟର ବିସ୍ଫୋରଣରେ ଭାଙ୍ଗିଯାଏ, ମଣ୍ଡଳର ମୋଟ ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ (ଭାଙ୍ଗିବାରୁ ଉତ୍ପନ୍ନ ବସ୍ତୁଗୁଡ଼ିକ; ଫୋଟନ, ନିଉଟ୍ରିନୋ ପ୍ରଭୃତିଙ୍କୁ ମିଳାଇ ସମସ୍ତ କଣିକାଙ୍କର ଗତିଜ ଶକ୍ତି) ଅପରିବର୍ତ୍ତିତ ରହେ; କିନ୍ତୁ ଗୋଟି ଗୋଟି କରି ଥିବା ସବୁ କଣିକାମାନଙ୍କର ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱଗୁଡ଼ିକର ଯୋଗଫଳ ମୂଳ ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱଠାରୁ ପ୍ରାୟ ଶତକଡ଼ା 0·1 କମ । ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଓ ଶକ୍ତି ମଧ୍ୟରେ ସମ୍ବନ୍ଧର ଗୋଟିଏ ଦୃଢ଼ସ୍ଥାନ ଉକ୍ତ ମଣ୍ଡଳଟିର ଚତୁଃ-ସଂବେଗ ଭେକ୍ଟରରୁ ମିଳିପାରିବ । ଏହି E ଚତୁଃ-ଭେକ୍ଟର ଗଠନକାରୀ ଉପାଦାନ ଗୁଡ଼ିକର ଚତୁଃ-ଭେକ୍ଟରମାନଙ୍କର ପରିଣାମୀ ହୋଇଥାଏ । ଏଠାରେ ଶକ୍ତି E ଚତୁଃ-ଭେକ୍ଟର ସଂବେଗର ସମସ୍ତ ସଂଯୋଜକ ପ୍ରତି ଅନୁପାତୀ ହେବ (ଏହି ସମସ୍ତ ସଂଯୋଜକ

ହେଲା iE/c), କଣ୍ଟ୍ରୋ ମଣ୍ଡଳର ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଚତୁଃ-ଭେକ୍ଟର ପରିମାଣର ମାପ (ପରିମାଣ ହେଲା iM_oc) । ଆମେ ନିମ୍ନମତେ ସଂକ୍ଷେପରେ ପ୍ରକାଶ କରିବା'

ଦୁଇ ବା ଅଧିକ ବସ୍ତୁ ମଧ୍ୟରେ ଯେ କୌଣସି ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାରେ ମଣ୍ଡଳଟିର ପରିଣାମୀ ସଂବେଗ-ଶକ୍ତି ଚତୁଃ-ଭେକ୍ଟର ସଂରକ୍ଷିତ ହୁଏ । ତେଣୁ ସାଧାରଣ ସଂବେଗ ଓ ଶକ୍ତି ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମ ମିଳିତ ହୋଇ ଗୋଟିଏ ଆପେକ୍ଷିକୀୟ ନିୟମ ହୁଏ । ଆଉ ମଧ୍ୟ, $\mathbf{P}$ର ଅପରିବର୍ତ୍ତନୀୟ ପରିମାଣ ହେଲା iM_oc, ଏଠାରେ କଣିକାଟିର ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ । ଯେଉଁ କଣିକାଗୁଡ଼ିକର ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଶୂନ୍ୟ (ଯଥା—ଫୋଟନ ବା ନିଉଟ୍ରିନୋ) $P = E/c$ । ସଂବେଗ-ଶକ୍ତିର ଆପେକ୍ଷିକୀୟ ସଂରକ୍ଷଣ ସ୍ଥିତି ସ୍ଥାପକ ଓ ଅଣସ୍ଥିତି ସ୍ଥାପକ, ଉଭୟ ପ୍ରକାର ସଂଘର୍ଷରେ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହୋଇଥାଏ ।

ଆମେ ଅନୁ: ୩.୬ରେ ଦେଖିଥାଉଁ ଯେ, ଯେତେବେଳେ କେହି ନିଉଟନଙ୍କ ଦ୍ୱିତୀୟ ନିୟମକୁ ଗତିଶୀଳ ଜଡ଼ଫ୍ରେମରେ ବ୍ୟବହାର କରେ ସେତେବେଳେ କେତେକ ଦ୍ୱନ୍ଦ୍ୱ ଉପୁଜେ । ମିନ୍‌କସ୍କି ଏହି ନିୟମକୁ ଗୋଟିଏ ବାଟରେ ପ୍ରକାଶ କଲେ ଯେଉଁଥିରେ ଜ ଅଂଶ ନଥିବା ମିନକସ୍କି ବଳ ଚତୁ-ଭେକ୍ଟର $\mathbf{F}$ କୁ ଚତୁଃ-ସଂବେଗର ପ୍ରକୃତ ସମୟ ପାଇଁ ଅବକଳନ ସହ ସମାନ କରାଯାଇଥାଏ, ଏହି ନିୟମ ବିଶେଷ ଆପେକ୍ଷିକବାଦର ଅନୁମାନର ଅନୁଧ୍ୟାଚରଣ କରି ନଥାଏ ।

$$\vec{\mathbf{F}} = \frac{d}{d\tau} m_o\vec{\mathbf{u}}$$

$$= \vec{I}_x \frac{dp_x}{d\tau} + \vec{I}_y \frac{dp_y}{d\tau} + \vec{I}_z \frac{dp_z}{d\tau} + \vec{I}_w \frac{dp_w}{d\tau}$$

$$= \vec{I}_x\gamma \frac{dp_x}{dt} + \vec{I}_y\gamma \frac{dp_y}{dt} + \vec{I}_z\gamma \frac{dp_z}{dt} + \vec{I}_w\gamma \frac{idE}{cdt}$$

$$= \gamma \frac{d\vec{p}}{dt} + \vec{I}_w\gamma \frac{idE}{cdt} \qquad (୩.୧୩)$$

ମିନ୍‌କସ୍କି ବଳର ସ୍ଥାନୀୟ ଅଂଶ γ $\frac{d\vec{p}}{dt}$ ସହ ସମାନ, ଏଠାରେ $\vec{P}$ ହେଲା ସାଧାରଣ ସଂବେଗ । ପୁରାତନ ସଂଜ୍ଞା ଅନୁସାରେ ବଳ ହେଲା $\vec{f} = \frac{d\vec{p}}{dt}$, ତେଣୁ ମିନ୍‌କସ୍କି ବଳର ସ୍ଥାନୀୟ ଅଂଶ ସାଧାରଣ ବଳ ଅପେକ୍ଷା γ ଗୁଣକ ଅଧିକ ଏବଂ ଏହାର ସ୍ଥାନୀୟ ସଂଯୋଜକ ଗୁଡ଼ିକ ହେଲା

$$F_x = \frac{f_x}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \qquad F_y = \frac{f_y}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

$$F_z = \frac{f_z}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \qquad (୩.୧୪)$$

ମିନକସ୍କି ବଳର ସମୟ ସଂଯୋଜକ ହେଲା

$$\frac{i\,dE}{c\,dt} \quad \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

କଣିକାଟିର ଶକ୍ତିର ପରିବର୍ତ୍ତନର ସମୟ ହାର ହେଲା ଯେଉଁ ହାରରେ $\vec{f}$ ବଳ କଣିକାଟି ଉପରେ କାର୍ଯ୍ୟ କରେ ଓ $\vec{F} \cdot \vec{V}$ ପରିମାଣର ପାଓ୍ୱାର,"ବଳ ଦେଇଥାଏ । ତେଣୁ $\vec{F}$ର ସମୟ ସଂଯୋଜକ ହେଲା

$$F_u = \frac{i}{c} \cdot \frac{dE}{dt} \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$$

$$= \frac{i\,\vec{f} \cdot \vec{V}}{c\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \qquad (୩.୧୫)$$

ଏଠାରେ $\vec{f}$ ଓ $\vec{V}$ ହେଲେ ଯଥାକ୍ରମେ ପୁର୍ବୋକ୍ତ ବଳ ଓ ଗତିବେଗ । ମିନକସ୍କି ବଳକୁ ନିମ୍ନମତେ ଲେଖାଯାଇ ପାରିବ,

$$\vec{F} = \gamma \vec{f} + I_{u} i\gamma_{f} \cdot \vec{V}/c$$

3.5 ଆପେକ୍ଷିକବାଦ ଓ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକବାଦ :

ଯାନ୍ତ୍ରିକୀରେ ଘଟୁଥିବା ଅବସ୍ଥାର ଆପେକ୍ଷିକବାଦରେ ବିରୂପାଚରଣ ହେଉଥିଲେ ମଧ୍ୟ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକୀୟ କ୍ଷେତ୍ର ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ନିୟମ ସବୁ ଆପେକ୍ଷିକବାଦ ସହ ଖାପ ଖାଇଥାଏ । ଏହା ବୋଧହୁଏ ଆଶା କରାଯାଇପାରେ କାରଣ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକୀୟ କ୍ଷେତ୍ରର ଗୋଟିଏ ଅଂଶ "ଆଲୋକ" ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ପରୀକ୍ଷାରୁ ପ୍ରକୃତରେ ଆପେକ୍ଷିକବାଦ ଜନ୍ମ ଅଛି । ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ତତ୍ତ୍ୱର ଅନେକ ବିଭାବରେ ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱ ପ୍ରୟୋଗ କଲେ ସୁଫଳ ନିଶ୍ଚୟ ମିଳୁଛି । ଚତୁଃ-ସ୍ଥାନ ସଙ୍କେତ ସବୁ ବ୍ୟବହାର କରିବାର ସୁବିଧା ଅନେକ ବେଶୀ ।

ଅନୁମାନ କରିବା ଯେ, ଗୋଟିଏ କଣିକାର ଚାର୍ଜ q ଗୋଟିଏ ସ୍କାଲର ଅପରିବର୍ତ୍ତୀୟ । S ଫ୍ରେମରେ ଚାର୍ଜ ସମ-ପରିମାଣରେ ବାଣ୍ଟି ହୋଇ ସ୍ଥିର ରହିଅଛି । ଗୋଟିଏ କ୍ଷୁଦ୍ର ଘନ $\triangle x\ \triangle y\ \triangle z$ରେ ଚାର୍ଜ ସାନ୍ଦ୍ରତା ହେଲା $\rho_{0} = \Sigma q_{i}/(\triangle x\ \triangle y\ \triangle z)$, ଏଠାରେ ଘନଟିରେ ଥିବା ସମସ୍ତ ଚାର୍ଜ ଉପରେ ଯୋଗଫଳ ନେବାକୁ ହୋଇଥାଏ । ଗୋଟିଏ ଗତିଶୀଳ ଫ୍ରେମ S' ରେ ଜଣେ ଦର୍ଶକ O' ଘନ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ଚାର୍ଜ ମାପନ୍ତିଏ, ତାଙ୍କୁ ସମୀକରଣ (୨·୧୧) ଅନୁସାରେ $\triangle x' = \triangle x \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$, ଯଦିଓ $\triangle y' = \triangle y$

ଓ $\triangle z' = \triangle z$ । ତେଣୁ O' ଦେଖେ ଯେ ଚାର୍ଜ ସାନ୍ଦ୍ରତା ହେଲା $\rho' = \rho_{0}/\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}$

$= \gamma_{V}\rho_{0}$; ଘନର ଲରେଞ୍ଜ-ଫିଜେରାଲ୍ଡ ସଙ୍କୋଚନ ଫଳରେ ρ' ଟି ρ ଠାରୁ ଅଧିକ ହୁଏ ।

ସାନ୍ଦ୍ରତା ρ ଟି S ଫ୍ରେମ ତୁଳନାରେ V ଗତିବେଗରେ ଗଲାବେଳେ ସମସ୍ତ ଚାର୍ଜ ବଣ୍ଟନ ବିସ୍ତୃତ କର । ସେତେବେଳେ ସ୍ରୋତ ସାନ୍ଦ୍ରତା ହେବ

$$\vec{J}=\Sigma q_1\vec{V}/(\triangle x\triangle y\triangle z) \qquad =\rho V=\gamma\rho_o\ \vec{V}$$

ଏଠାରେ $\gamma=1/\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ ।

ଏହା ସ୍ପଷ୍ଟ ଯେ, S'ରେ ସ୍ରୋତ ସାନ୍ଦ୍ରତା $\vec{J'}$ ଭିନ୍ନ ହୁଏ, କାରଣ v'ଟି v ଠାରୁ ଭିନ୍ନ ଓ ସ୍ଥାନ ସଙ୍କୋଚନ ଘଟିଥାଏ ।

ρ ବା $\vec{J}$ କେହି ଲରେଞ୍ଜ ରୂପାନ୍ତରଣରେ ଅପରିବର୍ତ୍ତନୀୟ ନ ହୋଇଥିଲେ ମଧ୍ୟ ନିମ୍ନ ଉପାୟରେ ଆମେ ଗୋଟିଏ ସ୍ରୋତ-ସାନ୍ଦ୍ରତା ଚତୁଃଭେକ୍ଟର ଗ୍ରହଣ କରିପାରିବା । S ଫ୍ରେମରେ $\vec{U}$ ଚାର୍ଜମାନଙ୍କର ଚତୁଃ-ଗତିବେଗ ହେଉ ଓ ρ_o ପ୍ରକୃତ ଚାର୍ଜ ସାନ୍ଦ୍ରତା ଅର୍ଥାତ୍; ଯେଉଁ ଫ୍ରେମରେ ଚାର୍ଜଗୁଡ଼ିକ ସ୍ଥିର ରହେ ତାହା ଫ୍ରେମରେ ଚାର୍ଜ ସାନ୍ଦ୍ରତାକୁ ପ୍ରକୃତ ଚାର୍ଜ ସାନ୍ଦ୍ରତା କୁହାଯାଏ । ତେବେ ସମୀକରଣ (୩.୭) ଅନୁସାରେ ଚତୁଃଭେକ୍ଟର

$\mathbf{J}=\rho_o\mathbf{U}$ ହେବ,

$$\mathbf{J}=\vec{I}_x\gamma\rho_o v_x+\vec{I}_y\gamma\rho_o v_y+\vec{I}_z\gamma\rho_o v_z+\vec{I}_w i\gamma c\rho_o$$

$$=\vec{I}_x\vec{J}_x+\vec{I}_y\vec{J}_y+\vec{I}_z\vec{J}_z+\vec{I}_w\vec{J}_w\,. \qquad (୩.୧୬)$$

ଏଠାରେ $\gamma=1/\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}$ । **J** ର ସ୍ଥାନୀୟ ସଂଯୋଜକଗୁଡ଼ିକ ସ୍ରୋତ ସାନ୍ଦ୍ରତାର ସଂଯୋଜକଗୁଡ଼ିକର ଅନୁରୂପ, କିନ୍ତୁ ଚତୁର୍ଥ ସଂଯୋଜକ J_w ହେଲା $ic\gamma\rho_o=ic\rho$ ।

ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକରେ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନତାର ସମୀକରଣ (ଏହା ଚାର୍ଜ ସଂରକ୍ଷଣରୁ ମିଳିଥାଏ) ହେଲା

$$\vec{\nabla}\cdot\vec{J}+\frac{\partial\rho}{\partial t}=0 \qquad (୩.୧୭)$$

ଏଠାରେ ଭେକ୍ଟର ଅପରେଟର Δ କାର୍ଟିଜୀୟ ସ୍ଥାନାଙ୍କରେ

$$\vec{\nabla} = \vec{I}_x \frac{\partial}{\partial x} + \vec{I}_y \frac{\partial}{\partial y} + \vec{I}_w \frac{\partial}{dz}$$

ଆପେକ୍ଷିକବାଦରେ ଚତୁଃ-ଭେକ୍ଟର ଅପରେଟର $\vec{\Box}$କୁ ବ୍ୟବହାର କରିବା ସୁବିଧାଜନକ । ଏହାର ସଂଜ୍ଞା ହେଲା,

$$\vec{\Box} = \vec{I}_x \frac{\partial}{dx} + \vec{I}_y \frac{\partial}{dy} + \vec{I}_z \frac{\partial}{dz} + \vec{I}_w \frac{\partial}{dw} \qquad (୩'୧୮)$$

ଏହି ଭାଷାରେ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନତାରେ ସମୀକରଣ କେବଳ ହୁଏ,

$$\vec{\Box} \cdot \vec{j} = 0 \qquad (୩'୧୭କ)$$

3'6 ମାକ୍ସୁଏଲଙ୍କ ସମୀକରଣାବଳି ଓ ଚତୁଃ-ବିଭବ : †

V ଗତିବେଗରେ ଯାଉଥିବା ଗୋଟିଏ ଚାର୍ଜ q ଉପରେ ଗୋଟିଏ ସାଧାରଣ ବଳ $\vec{f}$ କାର୍ଯ୍ୟ କରୁ । ଏହି ଲରେଞ୍ଜ ବଳ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ନିମ୍ନମତେ ଲେଖାଯାଇ ପାରିବ,

$$\vec{\mathbf{f}} = q\,[\vec{\mathbf{E}} + (\vec{\mathbf{v}} \times \vec{\mathbf{B}})] \qquad (୩'୧୯)$$

ଏଠାରେ ବିଦ୍ୟୁତ ତୀବ୍ରତା $\mathbf{E}$ ଏକକ ଚାର୍ଜ ଉପରେ ବଳ ଏତେବେଳେ ଫ୍ରେମ ତୁଳନାରେ ଚାର୍ଜଟି ସ୍ଥିର ରହିଅଛି । ବ୍ୟବଧାନ $\vec{\mathbf{f}} - q\,\vec{\mathbf{E}} = q\,(\vec{\mathbf{v}} \times \vec{\mathbf{B}})$ ହେଲା ଚୁମ୍ବକୀୟ ପ୍ରେରଣ $\vec{B}$ ଲାଗି ହେଉଥିବା ବଳ । ବୈଦ୍ୟୁତିକ ତୀବ୍ରତା $\vec{\mathbf{E}}$ ଓ ଚୁମ୍ବକୀୟ ତୀବ୍ରତା $\vec{B}$ ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଫ୍ରେମ ଅନୁସାରେ ସଂଜ୍ଞା ଲାଭ କରିଥାନ୍ତି; ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଓ ଚୁମ୍ବକୀୟ କ୍ଷେତ୍ର ମଧ୍ୟରେ ପାର୍ଥକ୍ୟ ଆଂଶିକ ଭାବରେ ତୁଳନାତ୍ମକ, ଫ୍ରେମ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରି ହୋଇଥାଏ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ (ଆମେ ଅନୁ : ୨'୨ ରେ ଦେଖିଥାଉଁ) S ଫ୍ରେମ ତୁଳନାରେ ସ୍ଥିର ଥିବା ଚାର୍ଜ ସବୁ କେବଳ ଗୋଟିଏ ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ର ସୃଷ୍ଟି କରିଥାନ୍ତି କିନ୍ତୁ S'

---

† ମାକ୍ସୁଏଲ ସମୀକରଣମାନଙ୍କ ସହିତ ପାଠକ ସୁପରିଚିତ ବୋଲି ଅନୁ:୩'୭ ଓ ୩'୭ରେ ଅନୁମାନ କରାଯାଇଅଛି ।

ଫ୍ରେମରେ ଜଣେ ଦର୍ଶକଙ୍କ ପାଇଁ ସେହି ସ୍ତର ଗୋଟିଏ ମୌଳିକ ସ୍ରୋତ ହେବ ଓ ସେଥି ସହିତ ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ରହିଥିବ ।

ବୈଦ୍ୟୁତିକ ବିସ୍ଥାପନ $\vec{D}$ ଟି $\vec{D} = \in_0 \vec{E} + + \vec{P}$ ଦ୍ୱାରା ସଂଜ୍ଞାପିତ ହୋଇଥାଏ, ଏଠାରେ **P** ହେଲା ଧ୍ରୁବିକରଣ (ପ୍ରତି ଏକକ ଘନ ପାଇଁ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଦ୍ୱିମେରୁ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ) ଏବଂ $\in_0$ ହେଲା ଶୂନ୍ୟ ସ୍ଥାନର Permittivity । ସେହିପରି, $\vec{H} = \vec{B}/\mu_0 + \vec{M}$ ଦ୍ୱାରା ଚୁମ୍ବକକାରୀ କ୍ଷେତ୍ର $\vec{H}$ ର ସଂଜ୍ଞା ଦିଆଯାଇ ପାରିବ, ଏଠାରେ μ_0 ହେଉଛି ଶୂନ୍ୟ ସ୍ଥାନର permittivity ଓ M ହେଉଛି ଚୁମ୍ବକୀକରଣ (ପ୍ରତି ଏକକ ଘନର ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ) । ଯଦି $\vec{J}$ ସ୍ରୋତ ସାନ୍ଦ୍ରତା ହଏ ଓ ρ ସ୍ତର ସାନ୍ଦ୍ରତା ହଏ, ଏ ରାଶିଗୁଡ଼ିକ ମାକ୍ସୱେଲଙ୍କ ସମୀକରଣ ଦ୍ୱାରା ପରସ୍ପର ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ :

$$\vec{\nabla} \times \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \qquad (କ.୨୦କ)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho \qquad (ଗ.୨୦ଖ)$$

$$\vec{\nabla} \times \vec{H} = \vec{J} \times \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} \qquad (ଗ.୨୦ଗ)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \qquad (ଗ.୨୦ଘ)$$

ସମୀକରଣ (ଗ ୨୦ଘ) ଦୃଷ୍ଟିରୁ $\vec{B}$ କୁ ଗୋଟିଏ ଭେକ୍ଟର ବିଭବ $\vec{A}$ ର କର୍ଲ

$(\vec{\nabla} \times \vec{A})$ $\qquad \vec{B} = \vec{\nabla} \times \vec{A}$ $\qquad$ (ଗ.୨୧)

ରୂପେ ଲେଖାଯାଇପାରିବ ।

ଯେତେବେଳେ ସମୀକରଣ (୩.୨୧)କୁ **E** ପାଇବାପାଇଁ ସମୀକରଣ (୩.୨୦କ)ରେ ବସାଯାଏ, ଆମେ ପାଉ

$$\mathbf{E} = \frac{\partial \mathbf{A}}{\partial \mathbf{t}} - \nabla\phi \qquad (୩.୨୨)$$

ଏଠାରେ ସମାକଳର ୪ ବକୁ ବସୁକ୍ତ ତଥ୍ୟ ଦଆଯାଇ ଗୋଟିଏ ସ୍କାଲର ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ବିଭବ ϕର କ୍ଷେତ୍ରଏଣ୍ଟ ହିସାବରେ ଲେଖାଯାଇଅଛି— ଏହି ବିଭବ ସ୍ଥାନରେ ସ୍ଥିର୍ନମାନଙ୍କର ବଣ୍ଟନ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିଥାଏ । ଜଟିଳତା କମାଇବା ପାଇଁ କେତେ ସ୍ଥାନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଆମେ ଏହି ଆଲୋଚନା କରିବା—ଏ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଯେ କୌଣସି ବିନ୍ଦୁ P ରେ ଆମେ ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ବିଭବ ପାଇବାପାଇଁ ଏ ବିନ୍ଦୁକୁ S ସ୍ଥାନାଙ୍କ ସଂସ୍ଥାର ମୂଳବିନ୍ଦୁ କରି ନିମ୍ନ ସମାକଳଟିର ମୂଲ୍ୟ ସ୍ଥିର କରିବା;

$$\phi\ (t) = \int_{\text{ସମସ୍ତ ସ୍ଥାନ}} \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\rho\ (\mathbf{r},\ t - r/c)}{r}\ d\upsilon \qquad (୩.୨୩)$$

ଏଠାରେ $d\upsilon$ ଗୋଟିଏ ମୌଳିକ ଘନ । ସମୟ t ରେ ϕ ପାଇବାପାଇଁ $t - r/c$ ସମୟରେ ଅମେ ρ ର ମୂଲ୍ୟ ବ୍ୟବହାର କରିବା;

ସେହିପରି, ଭେକ୍ଟର ବିଭବ **A** ର ଉତ୍ସ ହେଲା ସ୍ରୋତସବୁ ଓ **A** ହେଲା,

$$A\ (t) = \int_{\text{ସମସ୍ତ ସ୍ଥାନ}} \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{\mathbf{J}\ (r,\ t - r/c)}{r}\ d\upsilon \qquad (୩.୨୪)$$

ରିକ୍ତ ସ୍ଥାନରେ $c^2 = 1/\mu_0\ \epsilon_0$ ହେବାରୁ ସମୀକରଣ (୩.୨୩)କୁ ନିମ୍ନ ଆକାରରେ ଲେଖାଯାଇ ପାରିବ,

$$\frac{i\phi}{c} = \int_{\text{ସମସ୍ତ ସ୍ଥାନ}} \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{ic\rho\ (\mathbf{r},\ t - r/c)}{r}\ d\upsilon$$

$$= \int_{\text{ସମସ୍ତ ସ୍ଥାନ}} \frac{\mu_0}{4\pi} \cdot \frac{\mathbf{J}_4\ (\mathbf{r},\ t - r/c)}{r}\ d\upsilon$$

ଏଠାରେ ଗୋଟିଏ ଚତୁଃ-ବିଭବର ସମସ୍ତ ସଂଯୋଜକକୁ A_w କୁ ବୁଝାଇଥାଏ ।

$$\mathbf{A}=\mathbf{I}_x A_x+\mathbf{I}_y A_y+\mathbf{I}_z A_z+\mathbf{I}_w A_w=\mathbf{A}+\mathbf{I}_w \frac{i\phi}{c} \qquad (୩.୨୪)$$

ଶୂନ୍ୟ ସ୍ଥାନରେ **P** ଓ **M** ଶୂନ୍ୟ ହେବ, ତେଣୁ $\mathbf{D}=\epsilon_0 \mathbf{E}$ ଓ $\mathbf{B}=\mu_0\mathbf{H}$ । ସେଥିପାଇଁ ସମୀକରଣ (୩·୨୨)ର ଡାଇଭର୍‌ଜେନ୍‌ସ ନେଲେ ସମୀକରଣ (୩·୨୦ଖ) ସାହାଯ୍ୟରେ ମିଳିବ,

$$-\vec{\nabla}\cdot\vec{E}=\nabla^2\phi+\nabla\cdot\frac{\partial\vec{A}}{\partial t}=-\frac{\rho}{\epsilon_0} \qquad (୩·୨୬)$$

ଏବଂ ସମୀକରଣ (୩·୨୦)ରୁ (୩·୨୨) ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ମିଳାଇଲେ ମିଳିବ,

$$\nabla^2\mathbf{A}-\vec{\nabla}(\vec{\nabla}\cdot\mathbf{A})-\mu_0\epsilon_0\frac{\partial^2\mathbf{A}}{\partial t^2}-\mu_0\epsilon_0\frac{\partial\nabla\phi}{\partial t}$$
$$=-\mu\mathbf{J} \qquad (୩·୨୭)$$

ସମୀକରଣ (୩·୨୯) ଦ୍ୱାରା **A** ର ସଂଜ୍ଞା ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣରୂପେ ଦେଇ ହୁଏନାହିଁ; କାରଣ ଅସଂଖ୍ୟ ଭେକ୍ଟରଙ୍କର ସେହି କର୍ଲ ଥାଇପାରେ । ଆମେ ଆହୁ ମଧ୍ୟ ସ୍ୱାଧୀନ ଭାବରେ ନେଇ ପାରିବା ଯେ, ଏହାର ଡାଇଭର୍‌ଜେନ୍‌ସର କୌଣସି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ମୂଲ୍ୟ ହେବ; ଏଥିପାଇଁ ଆମେ ଲରେଞ୍ଜଙ୍କ ସର୍ତ୍ତ ଅନୁସାରେ ନିମ୍ନ ସର୍ତ୍ତ ଆରୋପ କରିବା,

$$\vec{\nabla}\cdot\vec{A}+\mu_0\epsilon_0\frac{\partial\phi}{\partial t}=0 \qquad (୩·୨୮)$$

ଯେହେତୁ x, y, z ଓ t ର **A** ଓ ϕ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ଫଳନ ହୁଅନ୍ତି, ଆମେ ଅବକଳନର କ୍ରମ ବଦଳାଇ ଦେଇ ପାରିବା; ଏଥିରେ ତାସାଙ୍କୁ ଲରେଞ୍ଜଙ୍କ ସର୍ତ୍ତ ମିଶାଇଲେ ଓ $c^2=1/\mu_0\epsilon_0$ ବ୍ୟବହାର କଲେ ସମୀକରଣ (୩·୨୭) ଓ (୩·୨୬)କୁ ନିମ୍ନ ଆକାରରେ ଲେଖିପାରିବା;

$$\nabla^2\mathbf{A}-\frac{1}{c^2}\frac{\partial^2\mathbf{A}}{\partial t^2}=-\mu_0\mathbf{J} \qquad (୩·୨୭କ)$$

$$\nabla^2\phi-\frac{1}{c^2}\cdot\frac{\partial^2\phi}{\partial t^2}=-\frac{\rho}{\epsilon_0}=-\mu_0 c^2\rho \qquad (୩·୨୬କ)$$

ଏହା ସାଙ୍ଗରେ $\square^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2} + \frac{\partial^2}{\partial w^2}$

$$= \nabla^2 - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2}{\partial t^2}$$

ତେବେ ଏ ସମୀକରଣଗୁଡ଼ିକ ଚତୁଃ-ଭେକ୍ଟର ସଙ୍କେତରେ ହେବ,

$$\square^2 \vec{A} = -\mu_0 \qquad \square^2 \phi = -\frac{\rho}{\epsilon_0} = -\mu_0 c^2 \rho$$

ବା

$$\square^2 \mathbf{A} = -\mu_0 \mathbf{J} \qquad (୩.୨୯)$$

ଚତୁଃ-ବିଭବ A ରେ ଲରେଞ୍ଜ ସର୍ତ୍ତ (୩.୨୮)

କେବଳ ହେବ $\vec{\square} \cdot \mathbf{A} = 0$

3·7 କ୍ଷେତ୍ର ଟେନ୍‌ସର :

ଯଦି କେହି ଚତୁଃ-ବିଭବର ସଂଯୋଜକଗୁଡ଼ିକୁ ଗୋଟିଏ ଫ୍ରେମରେ ଜାଣିଥାଏ, ସେ ଗୋଟିଏ ଗତିଶୀଳ ଫ୍ରେମକୁ ଲରେଞ୍ଜ ରୂପାନ୍ତରଣ କରି ପାରିବେ ଏବଂ ସେମାନଙ୍କରୁ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଓ ଚୁମ୍ବକୀୟ ତୀବ୍ରତା ସବୁ ପାଇ ପାରିବେ । ତେବେ, ସାଧାରଣତଃ ଗୋଟିଏ ଫ୍ରେମରେ କ୍ଷେତ୍ରଗୁଡ଼ିକ ଜଣାଥାଏ ଏବଂ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ଫ୍ରେମରେ ବିଭବର ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ କରି କ୍ଷେତ୍ର ବାହାର କରିବାର ଇଚ୍ଛା କରାଯାଏ । ଏହି କ୍ଷେତ୍ର ଟେନ୍‌ସର f_{ik} ସାହାଯ୍ୟରେ କରାଯାଇପାରେ,

$$f_{ik} = \square \times \mathbf{A} = \begin{vmatrix} 0 & -\frac{\partial A_x}{\partial y} + \frac{\partial A_y}{\partial x} & -\frac{\partial A_z}{\partial x} + \frac{\partial A_x}{\partial z} & \frac{\partial A_w}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial w} \\ \frac{\partial A_x}{\partial y} - \frac{\partial A_y}{\partial x} & 0 & \frac{\partial A_z}{\partial y} - \frac{\partial A_y}{\partial z} & \frac{\partial A_w}{\partial y} - \frac{\partial A_y}{\partial w} \\ \frac{\partial A_x}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial x} & \frac{\partial A_y}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial y} & 0 & \frac{\partial A_w}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial w} \\ \frac{\partial A_x}{\partial w} - \frac{\partial A_w}{\partial x} & \frac{\partial A_y}{\partial w} - \frac{\partial A_w}{\partial y} & \frac{\partial A_z}{\partial w} - \frac{\partial A_w}{\partial z} & 0 \end{vmatrix}$$

$$i \downarrow \quad k \rightarrow$$

$$= \begin{vmatrix} 0 & B_z & -B_y & -\frac{iE_x}{c} \\ -B_z & 0 & B_x & -\frac{iE_y}{c} \\ B_y & -B_x & 0 & -\frac{iE_z}{c} \\ \frac{iE_x}{c} & \frac{iE_y}{c} & \frac{iE_z}{c} & 0 \end{vmatrix} \qquad (୩·୩୦)$$

କ୍ଷେତ୍ର ଟେନ୍‌ସର ହେଲା ଗୋଟିଏ ଅଣସାମଞ୍ଜସ୍ୟପୂର୍ଣ୍ଣ ଦ୍ୱିଘାତ୍ୱ-ସଙ୍କ ଟେନ୍‌ସର । ଏପରି ଗୋଟିଏ ଟେନ୍‌ସରକୁ S ଫ୍ରେମରୁ S' ଫ୍ରେମକୁ ରୂପାନ୍ତରଣ କରିବା ଗୋଟିଏ ଭେକ୍ଟରକୁ ରୂପାନ୍ତରଣ କରିବା ଅପେକ୍ଷା ଜଟିଳତର । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ଗୋଟିଏ ଚତୁଃ ଭେକ୍ଟର ନିମ୍ନ ନିୟମରେ ରୂପାନ୍ତରିତ ହୋଇଥାଏ ।

$$V'_i = \sum_{k=1}^{4} C_{ik} V_k$$

ଏଠାରେ C_{ik} ହେଲା S' ଫ୍ରେମରେ i ଅକ୍ଷ ଓ S ଫ୍ରେମରେ K ଅକ୍ଷ ମଧ୍ୟରେ କୋଣ କୋସାଇନ ଏବଂ V_k ହେଲା x, y, z ବା w ସଂଯୋଜକକୁ V ପାଇଁ ଯଥାକ୍ରମେ $k = 1, 2, 3$ ବା 4; ଦ୍ୱିଘାତ୍ୱ ସଙ୍କର ଗୋଟିଏ ଟେନ୍‌ସର ପଦଗୁଡ଼ିକର ଦୁଇଟି ସୂଚକ ଥାଏ ଓ ନିମ୍ନ ସମୀକରଣ ଅନୁସାରେ ରୂପାନ୍ତରିତ ହୁଏ

$$T'_{ik} = \sum_{j=1}^{4} \sum_{m=1}^{4} C_{ij} C_{km} T_{jm} \qquad (୩·୩୦)$$

ମାଟ୍ରିକ୍ସ ସଙ୍କେତରେ

$$\begin{vmatrix} T'_{11} & T'_{12} & T'_{13} & T'_{14} \\ T'_{21} & T'_{22} & T'_{23} & T'_{24} \\ T'_{31} & T'_{32} & T'_{33} & T'_{34} \\ T'_{41} & T'_{42} & T'_{43} & T'_{44} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} \\ C_{41} & C_{42} & C_{43} & C_{44} \end{vmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} T_{11} & T_{12} & T_{13} & T_{14} \\ T_{21} & T_{22} & T_{23} & T_{24} \\ T_{31} & T_{32} & T_{33} & T_{34} \\ T_{41} & T_{42} & T_{43} & T_{44} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} C_{11} & C_{21} & C_{31} & C_{41} \\ C_{12} & C_{22} & C_{32} & C_{42} \\ C_{13} & C_{23} & C_{33} & C_{43} \\ C_{14} & C_{24} & C_{34} & C_{44} \end{vmatrix} \qquad (୩·୩୨)$$

ମାଟ୍ରିକ୍ସଗୁଡ଼ିକୁ ଗୁଣନ କରି ଓ ସମୀକରଣ (୩·୩୧)ର ପ୍ରସାରଣ ସହିତ ଫଳକୁ ତୁଳନା କରି ଏହାର ସଠିକତା ପରୀକ୍ଷା କରାଯାଇପାରେ । ଲକ୍ଷ୍ୟ କର ଯେ ସମୀକରଣର ଡାହାଣ ପଟେ ତୃତୀୟ ମାଟ୍ରିକ୍ସଟି ପ୍ରଥମଟିର ଟ୍ରାନ୍ସପୋଜ ଅର୍ଥାତ ଧାଡ଼ି ଓ ସ୍ତମ୍ଭକୁ ବଦଳାଇ କରିବା ଦ୍ୱାରା ମିଳୁଥିବା ମାଟ୍ରିକ୍ସ । ତେଣୁ ମୂଳ ମାଟ୍ରିକ୍ସର i ତମ ଧାଡ଼ି ଓ k ତମ ସ୍ତମ୍ଭରେ ଥିବା ଉପାଦାନ ଟ୍ରାନ୍ସପୋଜ ମାଟ୍ରିକ୍ସରେ k ଓ i ତମ ସ୍ତମ୍ଭରେ ରହୁଥାଏ ।

ତେଣୁ S′ ଫ୍ରେମରେ କ୍ଷେତ୍ର ଟେନ୍ସର ହେଲା,

$$f'_{ik} = \begin{vmatrix} \gamma_T & 0 & 0 & i\beta_T\gamma_T \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ i\beta_T\gamma_T & 0 & 0 & \gamma_T \end{vmatrix} \begin{vmatrix} 0 & B_z & -B_y & -\frac{iE_x}{c} \\ -B_z & 0 & B_x & -\frac{iE_y}{c} \\ B_y & -B_x & 0 & -\frac{iE}{c} \\ \frac{iE_x}{c} & \frac{iE_x}{c} & \frac{iE_z}{c} & 0 \end{vmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} \gamma_T & 0 & 0 & i\beta_T\gamma_T \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ i\beta_T\gamma_T & 0 & 0 & \gamma_T \end{vmatrix} \qquad (୩·୩୩)$$

ଏଥିରୁ ଆମେ ପାଇବା

$$B'_x = B_x \qquad B'_y = \gamma_T\left(B_y + \frac{VE_z}{c^2}\right)$$

$$B'_z = \gamma_T\left(B_z - \frac{VE_y}{c^2}\right) \qquad (୩·୩୪)$$

$$E'_x = E_x \qquad E'_y = \gamma_T\,(E_y - VB_z)$$

$$E'_z = \gamma_T\,(E_z + VB_y)$$

ସମବେଗର ଗୋଟିଏ ବିନ୍ଦୁ ଚାର୍ଜର କ୍ଷେତ୍ର ଉପରେ ପ୍ରଭାବ ପାଇବା ପାଇଁ ଏହି ସମୀକରଣଗୁଡ଼ିକ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇଥାଏ । ଚାର୍ଜ q ବେଗ v ରେ ଗତ କରୁ । ଆମେ

x ଅକ୍ଷକୁ ଚାର୍ଜ ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଓ ତା'ର ଗତିର ଦିଗରେ ନେବା । x ଅକ୍ଷର ବାହାରେ ଗୋଟିଏ ବିନ୍ଦୁ P ନିଅ ଓ ଏହି ବିନ୍ଦୁ ଓ V, x y ସମତଳ ସ୍ଥିର କରନ୍ତୁ (ଚିତ୍ର ୩-୨) । ଆମେ ଗୋଟିଏ S' ଫ୍ରେମ ବାଛିବା—ଏଥିରେ q ସ୍ଥିର ହେଉ: ଏହି ଫ୍ରେମରେ କ୍ଷେତ୍ରଟି କେବଳ ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଏବଂ ଏହାର ସଂଯୋଜକଗୁଡ଼ିକ ହେଲା,

$$E'_x = \frac{qx'}{4\pi\epsilon_0 r'^3} \qquad E'_y = \frac{qy'}{4\pi\epsilon_0 r'^3}$$

$$E'_z = 0 \tag{୩·୩୫}$$

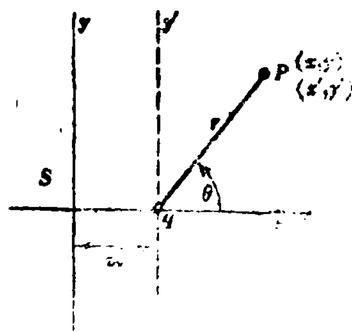
ଯେହେତୁ S ଫ୍ରେମଟି S' ତୁଳନାରେ V = −V ଗତିବେଗରେ ଗତିକରେ, ସମୀକରଣ (୩·୩୪) ର ଅନୁରୂପ S ଫ୍ରେମକୁ ରୂପାନ୍ତରଣ ସମୀକରଣଗୁଡ଼ିକ ହେଲେ,

$$B_x = B'_x \qquad B_y = \gamma\left(B'_y - \frac{vE'_z}{c^2}\right)$$

$$B_z = \gamma\left(B'_z + \frac{vE'_y}{c^2}\right) \tag{୩·୩୬}$$

$$E_x = E'_x \qquad E_y = \gamma\,(E'_y + vB'_z)$$

$$E_z = \gamma\,(E'_z - vB'_y)$$



[ଚିତ୍ର ୩·୨ S ଫ୍ରେମର x ଅକ୍ଷରେ v ବେଗରେ ଗତି କରୁଥିବା S' ଫ୍ରେମରେ ସ୍ଥିର ଥିବା ଚାର୍ଜ q]

ବର୍ତ୍ତମାନ S' ରେ $\vec{B}=0$, ତେଣୁ $B_x'=0=B'_y=B'$ ।
ସମୀକରଣ (୬'୪) ଅନୁସାରେ $x'=\gamma\ (x-vt)$ ଓ $y'=y$ । ଆଉ ମଧ୍ୟ $x-vt=r\cos\theta$, $y=r\sin\theta$ ଏବଂ

$$r'^2=x'^2+y'^2=\gamma^2\ (x-vt)^2+y^2$$
$$=\gamma^2r^2\cos^2\theta+r^2\sin^2\theta$$
$$=\gamma^2r^2\ [\cos^2\theta+(\sin^2\theta)/\gamma^2]$$
$$=\gamma^2r^2\ [1-v^2\ (\sin^2\theta)/c^2]$$

ସମୀକରଣ (୩.୩୬)ରେ ଏହି ଫଳଗୁଡ଼ିକ ବସାଇଲେ ଆମେ ପାଇବା।

$$E_x=\frac{q\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)\cos\theta}{4\pi\in_0r^2\ [1-v^2\ (\sin^2\theta)/c)^{\frac{3}{2}}}$$

$$E_y=\frac{q\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)\sin\theta}{4\pi\in_0\ r^2\ [1-v^2\ (\sin^2\theta)/c^2]^{\frac{3}{2}}} \qquad (୩'୩୭)$$

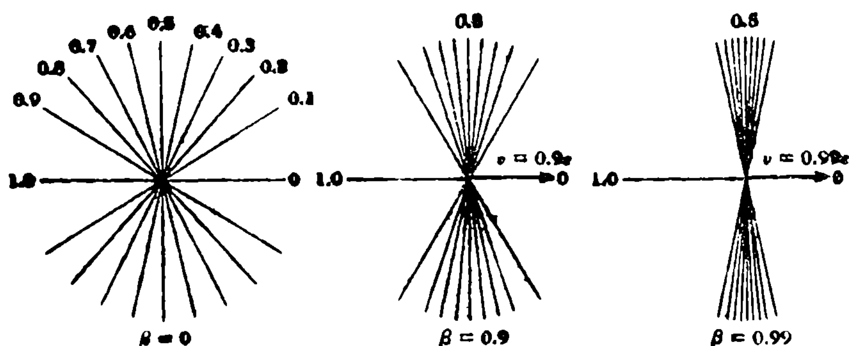
$$E_z=0=B_x=B_y$$

$$B_z=\frac{q\ v\left(1-\frac{v^2}{c^2}\right)/\sin\theta}{4\pi\in_0r^2\ [1-v^2\ (\sin^2\theta)/c^2]^{\frac{3}{2}}}$$

$E_y/E_x=\tan\theta$ ହେଉଥିବାରୁ q ର ତାତ୍କାଳିକ ଅସ୍ଥାନଠାରୁ ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ଦଗରେ ବାହାରକୁ ଚର୍ଚ୍ଚିତ ହୋଇଥାଏ । ଗୋଲକାକାର ପୋଲର ସ୍ଥାନାଙ୍କରେ $\vec{E}$ ହେବ $\vec{r}$ ଦଗରେ ଏବଂ $\vec{B}$ ହେବା ϕ ଦଗରେ—ଏହା ଯେକୌଣସି ଜଡ଼ଫ୍ରେମରେ q କୁ ତାତ୍କାଳିକ ମୂଳବନ୍ଦୁ ନେଲେ ଠିକ୍ ହେବ । କଲୁ ଗୋଟିଏ ଗଡଶୀଳ ସ୍ୱର୍ଣର କ୍ଷେତ୍ର ଜରଷ ସମତଳରେ ଜମିଥିବ (ଚିତ୍ର ୩.୩) ।

କ୍ଷେତ୍ରଗୁଡ଼ିକୁ ଓ ବଳବଗୁଡ଼ିକୁ ଗୋଟିଏ ଫ୍ରେମରୁ ଅନ୍ୟ ଫ୍ରେମକୁ ରୂପାନ୍ତରଣ କଲେ ଅନ୍ୟ ଅନେକ ସୂଚାନ୍ତ ମିଳି ପାରିବ ଯଥା, ସହଜରେ ଦେଖାଇ ଦଆଯାଇ ପାରିବ ଯେ

$\vec{B}\cdot\vec{H}-\vec{D}\cdot E$, $\vec{A}\cdot\vec{J}-\psi\phi$ ଓ $E\cdot\vec{B}$ ଗୁଡ଼ିକ ଅପରିବର୍ତ୍ତନୀୟ, S′ ଓ S ଫ୍ରେମରେ ସେମାନଙ୍କର ଏକା ମୂଲ୍ୟ । ଶୂନ୍ୟ ସ୍ଥାନରେ ସମତଳ ତରଙ୍ଗମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଯେକୌଣସି ଜଡ଼ ଫ୍ରେମରେ $\mu_0 H^2 = \epsilon_0 E^2$, ତେଣୁ $\vec{B}\cdot\vec{H}-\vec{D}\cdot E=0$ ତେଣୁ ଗୋଟିଏ ଫ୍ରେମର ସମତଳ ତରଙ୍ଗସବୁ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ଫ୍ରେମରେ ସମତଳ ତରଙ୍ଗରେ ରୂପାନ୍ତରଣ ହୋଇଥାଏ, ଯଦିଓ ଗତିର ଦିଗ ସ୍ପନ୍ଦନ ବଦଳିଥାଏ—ଆମେ ଅନୁ: ୩୩ରେ ଏହା ଦେଖିଥାଉଁ ।



[ଚିତ୍ର ୩୩ ଗୋଟିଏ ଗତିଶୀଳ ଚାର୍ଜର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଫ୍ଲକ୍ସକୁ ନିରକ୍ଷ ସମତଳରେ ଜମିଯାଇଅଛି । ଦଶମିକ ସଂଖ୍ୟାଗୁଡ଼ିକ ମୋଟ ଫ୍ଲକ୍ସରୁ V ଅକ୍ଷ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ କୋନରେ କେତେ ଭଗ୍ନାଂଶ ରହିଅଛି ତାହା ବୁଝାଉଛି । ସବୁ ବେଗରେ ବ୍ୟୁତ୍କ୍ରମ—ବର୍ଗ ନିୟମ ଲାଗିଥାଏ ।]

3·8 ସାଧାରଣ ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱ :

ବିଶେଷ ଆପେକ୍ଷିକବାଦର ଭୌତିକ ନିୟମଗୁଡ଼ିକ ଉପରେ ପ୍ରଭାବ ବିଷୟରେ ଆଲୋଚନା କରିବାକୁ ଯାଇ ଆମେ ମହାକର୍ଷଣ ସମ୍ବନ୍ଧରେ କିଛି କହି ନଥାଉଁ । ବିଶେଷ ତତ୍ତ୍ୱ ପ୍ରକାଶ କରିବା ପରେ, ଆଇନଷ୍ଟାଇନ୍ ସେହି ତତ୍ତ୍ୱ ସଙ୍ଗେ ମହାକର୍ଷଣ ନିୟମକୁ ମେଳ କରିବା ସମସ୍ୟା ହାତକୁ ନେଇଥିଲେ । କୌଣସି ଭୌତିକ ପ୍ରଭାବ ଗୋଟିଏ ସ୍ଥାନକୁ

ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ସ୍ଥାନକୁ ଆଲୋକରେ ଗତିବେଗଠାରୁ ଅଧିକ ବେଗରେ ସ୍ଥାନାନ୍ତର ହୋଇ ପାରୁ ନଥିବାରୁ, ଅନୁମାନ କରାଯାଇ ପାରିବ ଯେ, ମହାକର୍ଷଣ ପ୍ରଭାବ ଏକ ସସୀମ ଗତି ବେଗରେ ଗତି କରିଥାଏ । ତେବେ, ଏ ଗତିର ନିୟମ କ'ଣ ?

ତା ସାଙ୍ଗକୁ ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନଙ୍କ ମନରେ ଆଉ ଗୋଟିଏ ଧାରଣା ସଞ୍ଚିତ ରହିଥିଲା । ବିଶେଷ ତତ୍ତ୍ୱରେ, କେବଳ ଅଣତ୍ୱରିତ ଫ୍ରେମ ସବୁ ତୁଳନା କରାଯାଇଛି । ଏପ୍ରକାର ସର୍ତ୍ତ କାହିଁକି ? ଆପେକ୍ଷିକବାଦର ତତ୍ତ୍ୱ କ'ଣ କୌଣସିମତେ ବ୍ୟାପକ କରାଯାଇ ସମସ୍ତ ପ୍ରକାରର ଫ୍ରେମକୁ ଏକାପରି ବିଚାର କରାଯାଇ ପାରିବ ନାହିଁ ?

ଏହି ପ୍ରଶ୍ନଗୁଡ଼ିକ ଆଲୋଚନା କରିବାବେଳେ ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନ ଦେଖିଲେ ଯେ, ମହାକର୍ଷଣ ତ୍ୱରଣ ସବୁ ବସ୍ତୁ ପାଇଁ ସମାନ; କିନ୍ତୁ ବସ୍ତୁଗୁଡ଼ିକ ସାନ୍ଦ୍ରତା ଓ ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ଗୁଣରେ ନାନା ଭାବରେ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ହୋଇଥାନ୍ତି । ଏ ବିଷୟରେ, ମହାକର୍ଷଣ ତ୍ୱରଣ ଗୋଟିଏ ତ୍ୱରଣଶୀଳ ଫ୍ରେମ୍‌ର ତ୍ୱରଣର ଅନୁରୂପ ହୋଇଥାଏ—ଏହା ସାଧାରଣ ଅନୁଭବର କଥା । ଗୋଟିଏ ଚଳସିଡ଼ିରେ ଚଢ଼ିଥିଲାବେଳେ ସମସ୍ତେ ଜାଣନ୍ତି ଯେ ଚଳସିଡ଼ିଟି ତଳକୁ ତ୍ୱରାନ୍ୱିତ ହେଲାବେଳେ କିପରି ଦଣ୍ଡକ ପାଇଁ ହାଲୁକା ହେଲା ପରି ଲାଗେ । ମାଧ୍ୟାକର୍ଷଣ ବଳ କମିଗଲେ ଯେପରି ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୁଅନ୍ତା, ଏଠାରେ ସେପରି ପରିବର୍ତ୍ତନ ହେଲା ପରି ଲାଗେ । ପ୍ରକୃତରେ କୌଣସି ଯାନ୍ତ୍ରିକ ପରୀକ୍ଷାଦ୍ୱାରା ଏପରି ଭାବରେ ଉତ୍ପନ୍ନ ହେଉଥିବା ଗୋଟିଏ ମହାକର୍ଷଣ କ୍ଷେତ୍ରକୁ ପ୍ରକୃତ ଆକର୍ଷଣ ଫଳରେ ଘଟୁଥିବା କ୍ଷେତ୍ରଠାରୁ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର କରି ହେବନାହିଁ ।

କାର୍ଯ୍ୟତଃ ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନ ସିଦ୍ଧାନ୍ତ କଲେ ଯେ, ଯେକୌଣସି ବିନ୍ଦୁର ନିକଟରେ ଆକର୍ଷଣକାରୀ ବସ୍ତୁଲାଗି ହେଉଥିବା ମହାକର୍ଷଣ ବଳ ଓ ଗୋଟିଏ ଫ୍ରେମର ତ୍ୱରଣ ଫଳରେ ଘଟୁଥିବା 'ପ୍ରତୀତ' କ୍ଷେତ୍ର ମଧ୍ୟରେ କୌଣସି ପ୍ରଭେଦ ନାହିଁ । ଏହି ଅନୁମାନକୁ ସେ ଏକ ସ୍ୱତଃସିଦ୍ଧ ଭାବରେ ଗ୍ରହଣ କଲେ—ଏହାକୁ ସମତୁଲର ଷ୍ଟ୍ରଙ୍ଗ୍ (Strong) ନିୟମ କୁହାଯାଏ । ଯଦି ଏହି ନିୟମକୁ ଗ୍ରହଣ କରାଯାଏ, ଏଥିରୁ ଏପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଦେଖାଯାଇ ନଥିବା ଅନେକ ଭୌତିକ ପ୍ରଭାବ ଜଣାପଡ଼ିବ ।

ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ଆଲୋକ ମହାକର୍ଷଣ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରଭାବିତ ହେବା ଏ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ସାଧାରଣରେ ଜଣା ନଥିଲା । ମନେକର ଗୋଟିଏ ଲାବରେଟରୀକୁ ମୁକ୍ତ ଭାବରେ ତଳେ

ପଡ଼ିବାକୁ ଗ୍ଭଲ୍ଲେଇ ସେଥି ମଧ୍ୟରେ ପୃଥିବୀର ମାଧ୍ୟାକର୍ଷଣ ପ୍ରଭବକୁ ଲୋପ କରାଗଲା । ତେବେ, ଲିଫ୍‌ଟଟି ତୁଳନାରେ କୌଣସି ମାଧ୍ୟାକର୍ଷଣ ବଳ ରହିବନାହିଁ; ଗୋଟିଏ ବଳକୁ ଆନୁଭୂମିକ ଭାବେ ଫିଙ୍ଗିଲେ ଲିଫ୍‌ଟଟି ତୁଳନାରେ ସରଳରେଖାରେ ଗତି କରିବ, ଏହା ଗୋଟିଏ ପାରାବୋଲାରେ ଗତି କରିବ ନାହିଁ । ତେଣୁ ସମତୁଲ ନିୟମ ଅନୁସାରେ ଆନୁଭୂମିକ ଭାବରେ ଗୋଟିଏ ଆଲୋକ ରଶ୍ମି ଛଡ଼ାଗଲେ, ତାହା ମଧ୍ୟ ସରଳ ରେଖାରେ ଗତି କଲା ପରି ଦେଖାଯିବ; ଲିଫ୍‌ଟଟି ତୁଳନାରେ ଘଟୁଥିବା ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକ ଆକର୍ଷଣକାରୀ ସମସ୍ତ ବସ୍ତୁଠାରୁ ବହୁ ଦୂରରେ ଘଟିଲେ ଯେପରି ହୁଅନ୍ତା, ସେହିପରି ହେବ; ଏଥିରେ ସନ୍ଦେହ ନାହିଁ ଯେ ଏପରି ଏକ ଅବସ୍ଥାରେ ଆଲୋକ ସରଳ ରେଖାରେ ଗତି କରିବ । କିନ୍ତୁ, ପୃଥିବୀ ତୁଳନାରେ ଆଲୋକର ପଥ ସାମାନ୍ୟ ପରିମାଣରେ ବଙ୍କେଇଯିବ ।

ସମତୁଲ ନିୟମରୁ ଜଣାଯାଉଛି ଯେ, ଗୋଟିଏ ସମ ମହାକର୍ଷଣ କ୍ଷେତ୍ର ଉପଯୁକ୍ତ ଭାବରେ ବକ୍ର ହୋଇଥିବା ଫ୍ରେମ୍‌ରେ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣରୂପେ ରୂପାନ୍ତରିତ ହୋଇଯାଇପାରିବ । ଗୋଟିଏ ବିନ୍ଦୁର ନିକଟରେ ଯେ କୌଣସି କ୍ଷେତ୍ର ରୂପାନ୍ତରିତ ହୋଇ ପାରିବ, ସାଧାରଣ ଭାବରେ କହିଲେ, ଯେଉଁ ଫ୍ରେମରେ ଏହା ସମ୍ଭବ ହେବ, ତାହା ବିନ୍ଦୁରୁ ବିନ୍ଦୁକୁ ବଦଳିଯିବ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ନିଉୟର୍କରେ ମୁକ୍ତ ଭାବରେ ତଳକୁ ଖସୁଥିବା ଗୋଟିଏ ଫ୍ରେମ ତୁଳନାରେ ନିଉୟର୍କରେ କୌଣସି ମାଧ୍ୟାକର୍ଷଣ କ୍ଷେତ୍ର ନାହିଁ, କିନ୍ତୁ ଅଷ୍ଟ୍ରେଲିଆରେ ଦ୍ୱିଗୁଣ ବଳର ରହିଅଛି ।

ସମସ୍ୟା ରହିଲା ଯେ, କେଉଁ ଫ୍ରେମର ଜଡ଼ ଗୁଣସବୁ ରହିଅଛି ତାହା ମହାକର୍ଷକୋରୀ ବସ୍ତୁ କିପରି ସ୍ଥିର କରିବ । ଏ ନିୟମ ଏପରି ହେବ ଯେ, ଏଥିରୁ ମିଳୁଥିବା ଫଳସବୁ ନିଉଟନଙ୍କ ମହାକର୍ଷଣ ବଳରୁ ମିଳୁଥିବା ଫଳଗୁଡ଼ିକ ସହିତ ପ୍ରଥମ ଆସନ୍ନରେ ମିଳିଯାଉଥିବ, କାରଣ ସେ ନିୟମ ସୌର ମଣ୍ଡଳର ଗତିଗୁଡ଼ିକ ଅଧିକ ସୂକ୍ଷ୍ମତା ସହିତ ବର୍ଣ୍ଣନା କରିଥାଏ ଏବଂ ଏ ନିୟମ ବିଶେଷ ଆପେକ୍ଷିକବାଦ ସହିତ ମେଳ ଖାଇବା ଦରକାର । ଆଇନଷ୍ଟାଇନ ସଂକ୍ଷେପରେ କହିଲେ ଯେ, ନିୟମଟି ବୋଧହୁଏ ଅତ୍ୟନ୍ତ ସରଳ ଭାବରେ ଯେପରି ପ୍ରକାଶ କରାଯିବ ସେଥିରେ ସାଧାରଣ ଭାବରେ ବ୍ୟବହୃତ କୌଣସି ଫ୍ରେମର ବ୍ୟବହାର ହେବନାହିଁ, କିନ୍ତୁ ବ୍ୟାପକ ସ୍ଥାନାଙ୍କର କୌଣସି ବ୍ୟବହାର କରିବାକୁ ହେବ । ଗାଣିତିକ ଗ୍ରହ୍ମ୍ୟାନଙ୍କ ସାହାଯ୍ୟରେ ଭୌତିକ ନିୟମଗୁଡ଼ିକ କିପରି ଏକ ଆକାରରେ ଲେଖି ଯେକୌଣସି ପ୍ରକାରର ସ୍ଥାନ-କାଳ ସ୍ଥାନାଙ୍କରେ ଠିକ୍ ରଖାଯାଇପାରିବ, ତାହା ବାହାର

କରିଥିଲେ । ଏ ପ୍ରଣାଳୀରେ ବ୍ୟାପକ ଟେନ୍‌ସର ବିଶ୍ଳେଷଣ ବ୍ୟବହାର କରିବାକୁ ହୋଇଥାଏ । ଏତିକ କହିଲେ ଯଥେଷ୍ଟ ହେବ ଯେ, ଆଇନଷ୍ଟାଇନ ଦେଖିଲେ ଯେ, ମହାକର୍ଷଣର ଠିକ୍ ନିୟମ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଯେତେ ଯେତେ ଅନୁମାନ କରାଯାଇପାରେ, ସେମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ଗାଣିତିକ ଆକାରରେ ଅନ୍ୟ ସମସ୍ତଙ୍କ ତୁଳନାରେ ସରଳତାରେ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ରରୂପେ ବାରି ହୋଇଯାଉଅଛି । ଏହି ନିୟମକୁ ସେ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ଅନୁମାନରୂପେ ଗ୍ରହଣ କଲେ ଏବଂ ଏହା ଉପରେ ନିର୍ଭର କରି ଫଳାଫଳ କ'ଣ ହେବ ବାହାର କଲେ—ଏହି ଫଳଗୁଡ଼ିକ କେଉଁପରି ପରୀକ୍ଷାଦ୍ୱାରା ସ୍ଥିର କରାଯାଇପାରିବ ସେଥିପ୍ରତି ଦୃଷ୍ଟି ଦେଇଥିଲେ ।

ଏପରି ଭାବରେ ମିଳିଥିବା ମହାକର୍ଷଣର ନୂତନ ନିୟମରୁ ପରୀକ୍ଷାଦ୍ୱାରା ସ୍ଥିର କରିବା ସମ୍ଭବ ହେବାଭଳି ତିନିଗୋଟି ପ୍ରଭାବ ଆଇନଷ୍ଟାଇନ ପାଇଥିଲେ ।

୧ । ଗ୍ରହମାନଙ୍କର ଗତି ଅଳ୍ପ ପରିମାଣରେ ବଦଳିଯିବ । ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଭାବରେ ବଦଳିଯିବ । ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଭାବରେ କହିଲେ, ବୁଧର କକ୍ଷର ରବି ନୀଚ ଅବସ୍ଥା ସୂର୍ଯ୍ୟ ଚାରିପଟେ ପ୍ରତି ଶତାବ୍ଦୀରେ 43 ସେକେଣ୍ଡର ଘୂପ ହାରରେ ଘୂରେ । ଅନ୍ୟ ଗ୍ରହମାନଙ୍କ ଲାଗି ଆଲୋଡ଼ନ ବୁଧର ରବିନୀଚ ଅବସ୍ଥାକୁ ପ୍ରତି ଶତାବ୍ଦୀରେ 5556 ସେକେଣ୍ଡ ହାରରେ ଆଗେଇ ନେଇଥାଏ, କିନ୍ତୁ ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ଫଳ ହେଲା ପ୍ରତି ଶତାବ୍ଦୀରେ 5600 ସେକେଣ୍ଡ ଲେଖାଏଁ ଆଗୁଆ ହେବା । ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନ୍‌ଙ୍କ ତତ୍ତ୍ୱ ଜ୍ୟୋତିଷ ଶାସ୍ତ୍ରରେ ଏହି ଅସୁବିଧା ଦୂର କଲା ପରି ମନେ ହୁଏ । କିନ୍ତୁ, 1961 ରେ ଡିକେ ଓ ବ୍ରାନ୍ ଏକ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ଆପେକ୍ଷିକବାଦ ପ୍ରକାଶ କରିଥିଲେ, ଏଥିରେ ଆପେକ୍ଷିକ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଶତକଡ଼ା 10 କମି ଯାଇଥିଲା । 1967 ରେ ଡିକେ ଓ ଗୋଲ୍ଡେନବର୍ଗ ସୌର ଚତ୍ତ୍ୱମେରୁ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣର ପ୍ରମାଣ ପାଇଥିଲେ, ଏହା ଏତେ ବେଶୀ ଯେ ହିସାବରୁ ଓ ପରୀକ୍ଷାରୁ ମିଳୁଥିବା ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ହାର ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ଭାବରେ ମିଳିଯାଇଥିଲା ।

୨ । ଗୋଟିଏ ଗୁରୁ ବସ୍ତୁର ନିକଟରେ ଗତି କରୁଥିବା ଆଲୋକ ରଶ୍ମି ବସ୍ତୁଟି ଆଡ଼କୁ ବାଙ୍କିଯିବ । ସୂର୍ଯ୍ୟପାଇଁ ରଶ୍ମିଟିର ସୂର୍ଯ୍ୟର କେନ୍ଦ୍ରଠାରୁ ନିକଟତମ ଦୂରତାର ବ୍ୟୁତ୍କ୍ରମ ଅନୁପାତରେ ରଶ୍ମି ବାଙ୍କି ଯାଇଥାଏ, ଗୋଟିଏ ରଶ୍ମି ସୂର୍ଯ୍ୟଙ୍କର ପୃଷ୍ଠତଳରେ ଠିକ୍ ଲାଗି କରିଗଲେ 1'76 ସେକେଣ୍ଡର ଘୂପ ହେବ । ପରିତ ସମସ୍ତରେ ସୂର୍ଯ୍ୟପାଖକୁ ଲାଗି ଦେଖାଯାଉଥିବା ତାରା ସବୁ ବାହାର ଆଡ଼କୁ ପ୍ରାୟ 2 ସେକେଣ୍ଡର ଘୂପ ଦ୍ୱାରା

ବିସ୍ଥାପିତ ହେବାର ଦେଖାଯାଇଥାଏ (ପରୀକ୍ଷାଫଳ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ପରିମାଣରେ ବିଚ୍ଛୁରିତ ହେଲେ) ।

ଗ । ଅଳ୍ପ ମହାକର୍ଷଣ ବିଭବବାନ ଅଞ୍ଚଳରେ ମୌଳିକ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଯେତେବେଳେ ଉଚ୍ଚ ବିଭବ ଅଞ୍ଚଳରେ ସେହିପରି ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସଙ୍ଗେ ତୁଳନା କରାଯାଏ, ଅପେକ୍ଷାକୃତ ଆସ୍ତେ ଆସ୍ତେ ଘଟିବା ଉଚିତ । ଫଳରେ, ସୂର୍ଯ୍ୟରେ ପାରମାଣିକ ଦୋଳନ ଆସ୍ତେ ଆସ୍ତେ ଘଟେ ଏବଂ ସୂର୍ଯ୍ୟ ଆଲୋକରେ ଦେଖାଯାଉଥିବା ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ରେଖାସବୁ ପୃଥିବୀରେ ସେହି ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥରୁ ନିସ୍ଥାସିତ ବା ଶୋଷିତ ରେଖାମାନଙ୍କ ତୁଳନାରେ $\frac{\Delta\lambda}{\lambda}=2\cdot12\times10^{-6}$ ପରିମାଣରେ ଲାଲ ରଙ୍ଗ ଆଡ଼କୁ ଘୁଞ୍ଚି ଯାଇଥାଏ । 1960ରେ ପାଉଣ୍ଡ ଓ ରେବ୍‌କା ଦେଖାଇଲେ ଯେ, Fe^{57} ନିଉକ୍ଲିୟସର 14·4 keV γ ରଶ୍ମି co^{57}ର B ବିକାଶରୁ ବାହାର ପୃଥିବୀର ପୃଷ୍ଠତଳରେ $22m$ ଦୂରତା ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ଗତି କରିବାରେ ହିସାବ କରାଯାଇଥିବା ବିସ୍ଥାପନର $0{\cdot}97\pm0.04$ ଗୁଣ ବିସ୍ଥାପନ ହୋଇଥାଏ ।

ସ୍ଥାନ, କାଳ ଓ ମହାକର୍ଷଣ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଏହିପରି ମିଳୁଥିବା ଆଇନଷ୍ଟାଇନଙ୍କର ତତ୍ତ୍ୱକୁ ବ୍ୟାପକ ବା ସାଧାରଣ ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱ କୁହାଯାଏ । ଏହି ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ବସ୍ତୁର ସ୍ଥାନରେ ଗୁଣ ଠିକ୍ ଇଉକ୍ଲିଡ଼ୀୟ ନୁହେଁ । ଯଦି କୌଣସି ଆକାରର ଗୋଟିଏ ତ୍ରିଭୁଜ ସୂର୍ଯ୍ୟ ପରି ଗୋଟିଏ ଗୁରୁ ବସ୍ତୁ ପାଖରେ ଅନେକ ସିଗ୍‌ନାଲ ବ୍ୟବହାର କରି କଠିନ ଦଣ୍ଡମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ମାପ କରାଯାଏ, ଏହାର କୋଣଗୁଡ଼ିକ ମିଶାଇଦେଲେ 180° ହେବ ନାହିଁ ଇତ୍ୟାଦି । ଆଇନଷ୍ଟାଇନଙ୍କର ଚମତ୍କାର ଧୀଶକ୍ତିର ପରିପ୍ରକାଶ ପଛେ ପଛେ ନାନା ପ୍ରକାର ପରିବର୍ତ୍ତନର ସୂଚନା ମିଳିଥିଲା । ଏଥିରୁ କେତେକ ହିସାବରୁ ଆଇନଷ୍ଟାଇନଙ୍କ ହିସାବରେ ଏତେ ପାଖାପାଖି ଫଳ ହେଉଛି ଯେ ବର୍ତ୍ତମାନର ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ଫଳ, ସେମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ କେଉଁଟି ଠିକ୍, ବାଛିବାକୁ ଯଥେଷ୍ଟ ହେଉନାହିଁ ।

ପ୍ରଶ୍ନାବଳୀ

୧ । ପ୍ରମାଣ କର ଯେ ମାଟ୍ରିକ୍ସରେ ସମୀକରଣ (୩.୨) ଲରେଞ୍ଜ ସ୍ଥାନ-କାଳ ରୂପାନ୍ତରଣ ସମୀକରଣ (୨.୪)ର ସମତୁଲ ।

୨ । ପ୍ରମାଣ କର ଯେ ଗୋଟିଏ ଚତୁଃ-ଭେକ୍ଟର $\vec{A}$ ର ପରିମାଣ ଦୁଇଟି ଜଡ଼ ଫ୍ରେମ ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ସ୍କାଲର ଅପରିବର୍ତ୍ତିଶୀଳ, ଏଥିପାଇଁ ଦେଖାଅ ଯେ,

$$A_x^2+A_y^2+A_z^2+A_w^2=A'^2_x+A'^2_y+A'^2_z+A'^2_w$$

୩ । ଦେଖାଅ ଯେ, ସଂବେଗ ଚତୁଃ-ଭେକ୍ଟରର ପରିମାଣ ହେଉଛି im_0c ।

୪ । ଦେଖାଅ ଯେ, ଚତୁଃ-ଗତିବେଗର ବର୍ଗିତ ବେଗର ବର୍ଗିତ । ଏହା ଯେଉଁ ଜଡ଼ ଫ୍ରେମରେ ମାପ କରାଯାଇଅଛି, ଏହାର ମୂଲ୍ୟ ତା ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେନାହିଁ ବୋଲି ଦେଖାଇ ପ୍ରମାଣ କର ଯେ, ଏହା ଗୋଟିଏ ଚତୁଃ-ଭେକ୍ଟର ପରି ରୂପାନ୍ତରିତ ହୋଇଥାଏ ।

୫ । S' ଫ୍ରେମଟି ଗୋଟିଏ ଧ୍ରୁବ ଗତିବେଗ $\vec{V}$ ରେ S ଫ୍ରେମର Y ଅକ୍ଷରେ ଗତି କରୁ । ଯଦି ଦୁଇ ଫ୍ରେମର ଅନୁରୂପ ଅକ୍ଷସବୁ ସମାନ୍ତର ହୁଅନ୍ତି, ବ୍ୟାପକ ଚତୁଃ-ଭେକ୍ଟର ପାଇଁ ଲରେଞ୍ଜ ରୂପାନ୍ତରଣ ଲେଖ ।

୬ । ଚତୁଃ-ଗତିବେଗର S ଫ୍ରେମରୁ S' ଫ୍ରେମକୁ ଲରେଞ୍ଜ ରୂପାନ୍ତରଣ କର— ଏଠାରେ S' ଫ୍ରେମଟି S x ଅକ୍ଷରେ V ବେଗରେ ଗତି କରୁଅଛି । ଦେଖାଅ ଯେ, ଫଳଗୁଡ଼ିକ ସମୀକରଣ (୨.୭)ର ଫଳାଫଳରେ ଗତିବେଗ ରୂପାନ୍ତରଣ ସହ ମେଳ ଖାଉଅଛି ।

୭ । ଦେଖାଅ ଯେ, N ମୁକ୍ତ ଭାବରେ ଗତିଶୀଳ କଣିକାମାନଙ୍କ ପାଇଁ (ଯଥା—ଗୋଟିଏ ବାକ୍ସରେ ଗ୍ୟାସର ଅଣୁସବୁ) ମୋଟ ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ହୁଏ

$$M_o = \sum_{i=1}^{N} \left[(m_o)_i + \frac{K_i}{c^2} \right]$$

ଏଠାରେ $(m_o)_i$ ଓ K_i ହେଉଛନ୍ତି ଯଥାକ୍ରମେ i ତମ କଣିକାର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଓ ଗତିଜ ଶକ୍ତି ।

୮ । m ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନର ଗୋଟିଏ ସିଙ୍କ୍ରୋଟ୍ରୋନରେ $v = c$ ବେଗକୁ ତ୍ୱରାନ୍ୱିତ ହେଲା । ଯଦି ଏହା M ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ନିଉକ୍ଲିୟସ ସହ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଅସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ସଂଘର୍ଷ ଘଟାଏ, ପରିଣାମୀ ଯୌଗିକ ନିଉକ୍ଲିୟସର ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଓ ବେଗ ବ୍ୟବହାର କର ।

ଉତ୍ତର : $\sqrt{m^2 + M^2 + 2\gamma m M};\ \gamma m v/(\gamma m + M)$

୯ । (କ) S ଫ୍ରେମରେ m_o ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବିଶିଷ୍ଟ ଦୁଇଟି ସର୍ବସମ ବଲ୍ A ଓ Bର v ପରିମାଣର ସମାନ; କିନ୍ତୁ ବିପରୀତମୁଖୀ ଗତିବେଗ ରହିଅଛି । [ଏମାନେ ସଂଘର୍ଷ ଫଳରେ S ରେ ସ୍ଥିର ଥିବା ଗୋଟିଏ କଣିକାରେ ପରିଣତ ହୋଇଗଲେ । ସଂଘର୍ଷକୁ ସଂବେଗ-ଶକ୍ତି ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମ ଲଗାଇ ସଂଘର୍ଷ ପରେ ଏ ସଂସ୍ଥାଟିର ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

(ଖ) S' ଫ୍ରେମରେ ପ୍ରଶ୍ନଟିକୁ ପୁନର୍ବାର ସମାଧାନ କର—
ଏଥିରେ ବଲ୍ A ସ୍ଥିର ରହୁ ଓ ଦେଖାଅ ଯେ, ସଂଘର୍ଷ ପରେ ସଂସ୍ଥାଟିର ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ (କ)ରେ ହେଉଥିବା ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସହ ଏକା ହେବ ।

୧୦ । Sରେ ଚତୁଃଭେକ୍ଟର F କୁ S'ରେ F'ରେ ଲରେଞ୍ଜ ରୂପାନ୍ତରଣ ବ୍ୟବହାର କରି ରୂପାନ୍ତର କର । ଏହି ଫଳ ବ୍ୟବହାର କରି ଦେଖାଅ ଯେ, ସାଧାରଣ ବଳ ପାଇଁ ରୂପାନ୍ତରଣ ସମୀକରଣ ସବୁ ହେଲା,

$$f_x' = f_x - \frac{V v_y f_y}{c^2 - V v_x} - \frac{V u_z f_z}{c^2 - V v_x}$$

$$f_y' = \frac{\sqrt{1 - \frac{v'^2}{c^2}}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} f_y \qquad f_z' = \frac{1 - \frac{v'^2}{c^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} f_z$$

୧୧ । ଦେଖାଅ ଯେ, ସମୀକରଣ (୩'୨୮) ଚତୁ-ଭେକ୍ଟର ସୂଚନାରେ $\square \cdot \vec{\mathbf{A}}=0$ ହେଉଛି ଲରେଞ୍ଜ ସର୍ତ୍ତ ।

୧୨ । S_1 ଫ୍ରେମ S ଫ୍ରେମ ତୁଳନାରେ $V_1=\beta_1 c$ ଗତିବେଗରେ ଗତି କରୁଅଛି । ଗୋଟିଏ ଦ୍ୱିତୀୟ ଫ୍ରେମ S_2 ଗତିବେଗ $V_2=\beta_2 c$ରେ S_1 ତୁଳନାରେ ଗତି କରୁଅଛି । S ତୁଳନାରେ S_2 ଗତିବେଗ ସ୍ଥିର କର ଓ ଦେଖାଅ ଯେ,

$$\beta=\frac{\beta_1+\beta_2}{1+\beta_1\ \beta_2}$$

୧୩ । ଦେଖାଅ ଯେ, ଯଦି $h\nu$ ଶକ୍ତିର ଗୋଟିଏ ଫୋଟନ ଗୋଟିଏ m_o ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବିଶିଷ୍ଟ ଥିବା ନିଉକ୍ଲିୟସ୍ (ବା ଅନ୍ୟ କଣିକା) ଦ୍ୱାରା ଶୋଷିତ ହୁଏ, ଉତ୍ତେଜିତ କଣିକାର ବସ୍ତୁତ୍ୱ $M_o+h\nu/c^2$ ଓ ବେଗ $h\nu c/(h\nu+m_o c^2)$ ହେବ ।

୧୪ । ଗୋଟିଏ $m_o c^2$ ସ୍ଥିର ଶକ୍ତି ଓ ମୋଟ ଶକ୍ତି E ବିଶିଷ୍ଟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସ୍ଥିର ଥିବା ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସହ ଆଘାତ ପାଇଲା । ଦେଖାଅ ଯେ, ଯଦି $E>>m_o c^2$ ହୁଏ, ଶୂନ୍ୟ ସଂବେଗ ଫ୍ରେମରେ ସର୍ବାପେକ୍ଷା ଅଧିକ ମିଳୁଥିବା ଶକ୍ତି ହେଲା $\sqrt{2m_o c^2 E}$ ।

୧୫ । ପ୍ରଥମରୁ ସ୍ଥିର ଥିବା ଗୋଟିଏ M ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବିଶିଷ୍ଟ କଣିକା m_1 ଓ m_2 ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବିଶିଷ୍ଟ ଦୁଇଟି କଣିକାରେ ବିନାଶ ପ୍ରାପ୍ତ ହେଲା । ଦେଖାଅ ଯେ, m_1ର ମୋଟ ଶକ୍ତି ହେଲା $c^2(M^2+m_1{}^2-m_2{}^2)/2M$ ।

୧୬ । ବସ୍ତୁତ୍ୱ M ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଉତ୍ତେଜିତ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାକୁ ଯିବାରେ ଗୋଟିଏ γ ରଶ୍ମି ବିକିରଣ କଲା । ଯଦି ଉତ୍ତେଜିତ ଅବସ୍ଥା ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାର ΔE ଉପରକୁ ଥାଏ, ଦେଖାଅଯେ, ଫୋଟନର ଶକ୍ତି ହେଲା$\Delta E(1-\Delta E/2Mc^2$ । (ଲକ୍ଷ୍ୟ କର ଯେ ଏହା ପୂର୍ବ ପ୍ରଶ୍ନର ଗୋଟିଏ ଘଟଣା) ।

୧୭ । S ଫ୍ରେମରେ ଗୋଟିଏ ମନଇଚ୍ଛା ଗତିବେଗ ଦିଆଯାଉ ଯେପରି କି $v_x=v\cos\theta$ । ଦେଖାଅ ଯେ, S'ରେ (ଯେଉଁଥିରେ $v_x'=v'\cos\theta'$)

$$\sqrt{1-\frac{v'^2}{c^2}}=\frac{\sqrt{1\quad V^2/c^2}\ \sqrt{1-v^2/c^2}}{1-vV\ (\cos\theta)/c}$$

ଏବଂ

$$\tan \theta' = \frac{\sqrt{1 - \frac{V^2}{c^2}}\, \nu \sin \theta}{\nu \cos \theta - V}$$

ଆଉ ମଧ୍ୟ ଦେଖାଅ ଯେ, ଯଦି $\nu = c$ ହୁଏ,

$$\tan \theta' = \frac{\sqrt{1 - V^2/c^2} \sin \theta}{\cos \theta - V/c}$$

ଏହାହିଁ ଆଲୋକର ବିପଥନ ପାଇଁ ଆପେକ୍ଷିକୀୟ ସମୀକରଣ, – ଆଇନଷ୍ଟାଇନ ତାଙ୍କ ପ୍ରଥମ ପ୍ରବନ୍ଧରେ ଏହାକୁ ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ କରିଥିଲେ ।

୧୮ । ସ୍ଥିର ଥିବା ପ୍ରୋଟନମାନଙ୍କୁ ଅଧିକ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ପ୍ରୋଟନମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଆଘାତ କରିବାଦ୍ୱାରା $P+P \rightarrow P+n+\pi^+$ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ଗୋଟିଏ ଯୁକ୍ତ ପାଇୟନ ଉତ୍ପନ୍ନ କରାଯାଇ ପାରିବ । ଯଦି P, n ଓ π^+ ପାଇଁ ସ୍ଥିର ଶକ୍ତିଗୁଡ଼ିକ ଯଥାକ୍ରମେ 938, 939·5 ଓ 135 MeV ହୁଏ, ଏହି ପ୍ରକ୍ରିୟାପାଇଁ ଆପତନ ପ୍ରୋଟନ ଗୁଡ଼ିକର ସର୍ବନିମ୍ନ ଗତିଜ ଶକ୍ତି ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର । ସୂଚନା : ପ୍ରଥମେ ବସ୍ତୁତ୍ୱ କେନ୍ଦ୍ର ସ୍ଥିର ଥିବା ଗୋଟିଏ ଫ୍ରେମରେ ହିସାବ କର—

ଉତ୍ତର : 280 meV.

୧୯ । ସ୍ଥିର ଥିବା ପ୍ରୋଟନମାନଙ୍କୁ ଉଚ୍ଚଶକ୍ତି ସମ୍ପନ୍ନ ପ୍ରୋଟନମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା $P+P \rightarrow P+P+(P+\bar{P})$ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ଆଘାତ କରି ଅଣ୍ଟିପ୍ରୋଟନଗୁଡ଼ିକ ଉତ୍ପନ୍ନ କରାଯାଏ । ବସ୍ତୁତ୍ୱ-କେନ୍ଦ୍ର ଫ୍ରେମ୍‌ରେ ପ୍ରକ୍ରିୟା ପାଇଁ ଆବଶ୍ୟକ ପ୍ରତ୍ୟେକ ପ୍ରୋଟନର ସର୍ବନିମ୍ନ ଗତିଜ ଶକ୍ତି ବାହାର କର । ଏହି ଫ୍ରେମରେ C ଏହି ଶକ୍ତି ପାଇଁ β ଓ γର ମୂଲ୍ୟସବୁ କଣ ? ଲବରାଟରୀ ଫ୍ରେମକୁ ରୂପାନ୍ତରଣ କରି ଓ ପ୍ରକ୍ରିୟା ପାଇଁ ଆପତନ ପ୍ରୋଟନର ସର୍ବନିମ୍ନ ଗତିଜ ଶକ୍ତି ବାହାର କର ।

ଉତ୍ତର : m_0c^2; $\sqrt{3}/2$, 2; $6m_0c^2$ ।

୨୦ । ଦେଖାଅ ଯେ, $\vec{B}\cdot\vec{H}-\vec{D}\cdot\vec{E}$, $\mathbf{A}\cdot\mathbf{J}-\rho\phi$ ଓ $\vec{E}\cdot\vec{B}$ ଲରେଞ୍ଜ ରୂପାନ୍ତରଣରେ ଅପରିବର୍ତ୍ତନୀୟ । (ଏଗୁଡ଼ିକ ସେଥିପାଇଁ ଗଢ଼ଣୀୟ କ୍ଷେତ୍ର ଟେନ୍‌ସର)

୨୧ । ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ r_0 ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ଦୀର୍ଘ ସରଳତାର ଗୋଟିଏ ଶକ୍ତ ଟିଉବ ମଧ୍ୟରେ R ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ଫମ୍ପା ସିଲିଣ୍ଡର ଆକାରର ଅକ୍ଷ ଦେଇ I ସ୍ରୋତ ବହନ କରି ରହିଅଛି; ସିଲିଣ୍ଡରର ବିଭବ ତାର ତୁଳନାରେ V । ଯଦି ମଧ୍ୟସ୍ଥ ତାରଟି ଏତେ ଗରମ ଅଛି ଯେ ନଗଣ୍ୟ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ସବୁ ନିଷ୍କାସନ କରି ଯାଉଛି, ଦେଖାଅ ଯେ, ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ସିଲିଣ୍ଡରକୁ ଛୁଇଁ ପାରିବ ଯଦି I

$$2\pi\,\frac{\sqrt{(Ve/c)^2+2m_0Ve}}{\mu_0 e\ \ln\,(R/r_0)}$$

ରୁ କମ୍ ହେବ ।

୨୨ । ଗୋଟିଏ ଛକା-କ୍ଷେତ୍ରରେ ବିଭିନ୍ନ ଗତିବେଗ କଣିକାଗୁଡ଼ିକରୁ ଆକାଂକ୍ଷିତ ଗତି ବେଗରେ ଥିବା କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ବିକ୍ଷେପିତ ନହୋଇ ଚାଲିଯାଆନ୍ତି, କାରଣ ବୈଦ୍ୟୁତିକ (qE_0) ଓ ଚୁମ୍ବକୀୟ ($q\,v_x\,B_x$) କ୍ଷେତ୍ର ସବୁର ବଳଗୁଡ଼ିକ ସମାନ ଓ ବିପରୀତମୁଖୀ । ଦେଖାଅ ଯେ ଆକାଂକ୍ଷିତ ଗତିବେଗ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ କଣିକା ଉପରେ ବଳ, କଣିକାଟି ସ୍ଥିରଭାବେ ଥିବା ଫ୍ରେମରେ ଶୂନ ହେବ ।

୨୩ । ଷ୍ଟାର୍କ ଦେଖାଇଲେ ଯେ, ମୌଳିକମାନଙ୍କର ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ଗୋଟିଏ ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ରଦ୍ୱାରା ବହୁ ସଂଯୋଜକରେ ଭାଙ୍ଗିଯାଏ । ଓ୍ୱାଏନ ଦେଖାଇଲେ ଯେ, ଷ୍ଟାର୍କ ବିନ୍ୟାସ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମରେ ଦେଖାଯାଇଥାଏ— ଯେତେବେଳେ ପ୍ରୋଟନର ଗୋଟିଏ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ଅନ୍ୟଥା କ୍ଷେତ୍ର ଶୂନ୍ୟସ୍ଥାନରେ କେବଳ ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର B_xକୁ ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ଉଚ୍ଚ ବେଗ v ରେ ଗତି କରେ ସେତେବେଳେ ଏହି ବିନ୍ୟାସ ଦେଖାଯାଏ । ଦେଖାଅ ଯେ, ପ୍ରୋଟନଟି ସ୍ଥିର ଥିବା ଫ୍ରେମରେ ଯେଉଁ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ରହେ, ତାର ପରିମାଣ γvB—ଏହି ଫ୍ରେମ ପାଇଁ କ୍ଷେତ୍ର ଟେନ୍‌ସର ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

୧୪ । S ଫ୍ରେମରେ ଗୋଟିଏ ଦୀର୍ଘ ସରଳ ତାର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଭାବରେ ପୂର୍ଣ୍ଣ ଅବସ୍ଥାରେ ଥାଏ, ଏହି ଫ୍ରେମରେ ତା'ର ସ୍ରୋତ ସାନ୍ଦ୍ରତା $J = nev_D$, ଏଠାରେ n ହେଲା ପ୍ରତି ଏକକ ଘନରେ ପରିବହନ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ଓ v_D ହେଲା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର drift ଗତିବେଗ । ଦେଖାଅ ଯେ, ଜଣେ ଦର୍ଶକ V ବେଗରେ ତାରକୁ ସମାନ୍ତର ଭାବରେ ଗତି କଲେ ଏଥିରେ ମୋଟ ଚାର୍ଜ ସାନ୍ଦ୍ରତା

$$\rho_{net} = \rho'_+ + \rho'_- = \frac{\gamma\, neVv_D}{c^2}$$

ଦେଖିଥାଏ ।

୧୫ । ଦେଖାଅ ଯେ, ଏକକ ଘନରେ ଲରେଞ୍ଜ ବଳ $\rho(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B})$ ଗୋଟିଏ ଚତୁର୍-ଭେକ୍ଟର ବଳ ଅଂଶ । ଚତୁର୍ଥ ସଂଯୋଜକ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ଓ ଦେଖାଅ ଯେ ପ୍ରତି ଏକକ ଘନରେ ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ର ଦ୍ୱାରା ବ୍ୟୟିତ ପାୱାରର ଏହା ଗୋଟିଏ ପରିମାପ ।

ଚତୁର୍ଥ ଅଧ୍ୟାୟ

ଅଣୁ ଓ ପରମାଣୁ

ପ୍ରକୃତରେ ବସ୍ତୁ ଅବଚ୍ଛିନ୍ନ ନା ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ସମାହାର, ତାହା ଊନବିଂଶ ଶତାବ୍ଦୀରେ ବହୁ ପରିମାଣରେ ସ୍ଥିର ହୋଇ ଯାଇଥିଲା । ଆଧୁନିକ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନରେ ଅଧିକାଂଶ ସ୍ଥଳ ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ଗଠନ ଓ ଗୁଣ ଏବଂ ଗ୍ୟାସ ଓ ସ୍ଫଟିକାକାର କଠିନ ପଦାର୍ଥରେ ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ସମାହାର ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଆଲୋଚନା କରାଯାଇଥାଏ । ଯଦିଓ ଏହି ବିଷୟଗୁଡ଼ିକ ପୁରାତନ ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନରେ ପୁଙ୍ଖାନୁପୁଙ୍ଖ ଭାବରେ ଆଲୋଚିତ ହୋଇ ପାରେନାହିଁ, ବହୁ ମୂଲ୍ୟବାନ ବିଷୟବସ୍ତୁ ଦେଇ ଏହା ଏକ ଉନ୍ନତ ପରମ୍ପରା ସୃଷ୍ଟି କରିଥାଏ—ଏଥିରୁ କେତେକ ବିଷୟ ଏହି ଅଧ୍ୟାୟରେ ଆଲୋଚନା କରାଯିବ ।

4·1. ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ରସାୟନିକ ପ୍ରମାଣ :

ଊନବିଂଶ ଶତାବ୍ଦୀର ପ୍ରଥମ ଭାଗରେ ରସାୟନବିତ୍‌ମାନେ ପାରମାଣିକ ଅଣୁମାନଙ୍କୁ ଏକ ପାରମାଣିକ ଭିତ୍ତିରେ ଅବସ୍ଥାପନ କରିଥିଲେ । ସେତେବେଳେ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ ଜଣା ଥିଲା । ଏହି ପଦାର୍ଥଗୁଡ଼ିକ ରାସାୟନିକ ପ୍ରଣାଳୀରେ ସରଳତର ବସ୍ତୁମାନଙ୍କରେ ବିଭାଜନ କରି ହେବନାହିଁ । ଏହାଠାରୁ ବହୁ ଅଧିକ ସଂଖ୍ୟକ ଯୌଗିକ ପଦାର୍ଥ ସେତେବେଳେ ଜଣାଥିଲା—ଏଗୁଡ଼ିକୁ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କରେ ବିଭାଜନ କରାଯାଇ ପାରୁଥିଲା ।

ଯେତେବେଳେ କୌଣସି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଯୌଗିକ ପଦାର୍ଥ ଗଠିତ ହେଉଥିଲା, ଗୋଟିଏ ପଦାର୍ଥ କୌଣସି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସହିତ ସେତେବେଳେ ଅନ୍ୟ ପଦାର୍ଥର ମିଳିତ ହେଉଥିବା ବସ୍ତୁତ୍ୱ ପରିମାଣ ସର୍ବଦା ସମାନ ରହୁଥିଲା ।

ଏହି ବିଶାଳ ସାଧାରଣୀକରଣ ହେଲା ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଅନୁପାତ ନିୟମ ବା ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଗଠନ ନିୟମ । ୧୮୦୩ ମସିହାରେ ଡାଲ୍‌ଟନ୍ ପ୍ରସ୍ତାବ ଦେଲେ ଯେ, ପ୍ରତ୍ୟେକ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ ତା'ର ପରମାଣୁମାନଙ୍କୁ ନେଇ ଗଠିତ । ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ କ୍ଷୁଦ୍ର ଅବିଭାଜ୍ୟ କଣିକା; ଗୋଟିଏ ପ୍ରକାରର ପ୍ରତ୍ୟେକ ପରମାଣୁ ଏକାପରି । ଯେତେବେଳେ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ପ୍ରକାରର ପରମାଣୁ ସଂଯୋଜିତ ହୁଅନ୍ତି, ଗୋଟିଏ ଯୌଗିକ ପଦାର୍ଥ ଗଠିତ ହୋଇଥାଏ । ଡାଲଟନଙ୍କର ତତ୍ତ୍ୱରେ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଅନୁପାତ ନିୟମ ନିହିତ ଅଛି । ପ୍ରକୃତରେ, ଡାଲଟନ୍ କହିଥିଲେ ଯେ, A ଓ B ଦୁଇଟି ପଦାର୍ଥରୁ ଏକାଧିକ ଯୌଗିକ ପଦାର୍ଥ ଗଠିତ ହୋଇପାରେ ଏବଂ ଏହିପରି ବହୁ ଅନୁପାତ ନିୟମର ଆକର୍ଷଣ ବାଣୀ ସେ ଶୁଣାଇଥିଲେ ।

ଯେତେବେଳେ ଦୁଇଟି ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ ମିଳିତ ହୋଇ ଏକାଧିକ ଯୌଗିକ ପଦାର୍ଥ ଗଠିତ ହୁଏ, ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ Bର ଏକା ପରିମାଣ ସହିତ ମିଳିତ ହେଉଥିବା ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ Aର ବିଭିନ୍ନ ପରିମାଣ କ୍ଷୁଦ୍ର କ୍ଷୁଦ୍ର ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ଅନୁପାତରେ ରହିଥାଏ ।

୧୮୦୮ ରେ ଗେଲୁସାକ ଦେଖାଇଲେ ଯେ, ଯେତେବେଳେ ଦୁଇଟି ଗ୍ୟାସ ପରସ୍ପର ମିଳିତ ହୋଇ ଗ୍ୟାସୀୟ ଯୌଗିକ ପଦାର୍ଥ ଗଠନ କରନ୍ତି, କ୍ରିୟାଶୀଳ ଗ୍ୟାସ ଓ ସେଥିରୁ ମିଳୁଥିବା ଗ୍ୟାସର ଘନଫଳଗୁଡ଼ିକ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ଅନୁପାତ କ୍ଷୁଦ୍ର କ୍ଷୁଦ୍ର ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟାରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରିବ । ତିନିବର୍ଷ ପରେ ଅଭୋଗାଡ୍ରୋ ଅଣୁ ଓ ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ପାର୍ଥକ୍ୟ ଦର୍ଶାଇଲେ ଏବଂ ତାଙ୍କର ସମ୍ମାନପ୍ରଦ ଅନୁମାନ ପ୍ରକାଶ କରିଗଲେ ।

ତାପମାତ୍ରା ଓ ଚାପର ସଂସମ ଅବସ୍ଥାରେ ସବୁ ଗ୍ୟାସର ସମ ଘନଫଳରେ ସମାନ ସଂଖ୍ୟକ ଅଣୁ ରହେ ।

କୌଣସି ରାସାୟନିକ କ୍ରିୟାରେ ଅଂଶ ଗ୍ରହଣ କରିବାରେ ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁ ସର୍ବନିମ୍ନ ଏକକ ହେଲେ ମଧ୍ୟ, ଗ୍ୟାସୀୟ ଅବସ୍ଥାରେ ସ୍ଥାୟୀ ଭାବରେ ରହିବାପାଇଁ ଗୋଟିଏ ମୌଳିକ ବା ଯୌଗିକ ପଦାର୍ଥ ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ଅଣୁ ହିଁ ସମର୍ଥ । ଯଦି ଅଣୁଗୁଡ଼ିକ

ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁ ହୋଇଥାନ୍ତି, ତେବେ ସେଗୁଡ଼ିକୁ ଏକ ପରମାଣୁ ବିଶିଷ୍ଟ ବୋଲି କୁହାଯାଏ : ଯଥା ହିଲିୟମ ନିୟନ; ଯଦି ଅଣୁଗୁଡ଼ିକରେ ଦୁଇ ଦୁଇଟି ପରମାଣୁ ଥାଆନ୍ତି, ତେବେ ସେଗୁଡ଼ିକ ଦ୍ୱିପରମାଣୁ ବିଶିଷ୍ଟ ଯଥା : ହାଇଡ୍ରୋଜେନ, ଅକ୍ସିଜେନ ଓ ଓ ନାଇଟ୍ରୋଜେନ; ଯଦି ସେଗୁଡ଼ିକରେ ତିନି ତିନୋଟି ପରମାଣୁ ଥାଆନ୍ତି, ତେବେ ସେମାନେ ତ୍ରିପରମାଣୁ ବିଶିଷ୍ଟ; ଯଥା : ଜଳ, କାର୍ବନଡାଇ ଅକ୍ସାଇଡ଼ ଇତ୍ୟାଦି ।

ଡାଲଟନଙ୍କର ଅନୁମାନର ଏକ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ଅବଦାନ ହେଲା, ପାରମାଣିକ ଓଜନର ଧାରଣା । କୌଣସି ପ୍ରକାର ପରମାଣୁର ପରମ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରିବା ସେସମୟରେ ଅସମ୍ଭବ ଥିଲା; କିନ୍ତୁ ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁତ୍ୱର ଏକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସହିତ ଅନ୍ୟ ବସ୍ତୁମାନଙ୍କର କେଉଁ ପରିମାଣର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ମିଳିତ ହୋଇ ପାରୁଛି ତାହା ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରି ସେଥିରୁ ସେମାନଙ୍କର ଆପେକ୍ଷିକ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଇପାରୁଥିଲା । ପ୍ରକୃତିରେ ମିଳୁଥିବା ଅକ୍ସିଜେନକୁ 16,0000 ବୋଲି ଧରିନେଇ ବହୁବର୍ଷ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ରସାୟନିକ ପାରମାଣିକ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସବୁ ସ୍ଥିର କରାଯାଇଥିଲା । ଏହି ପ୍ରଣାଳୀରେ ଲଘୁତମ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଏକଠାରୁ କିଛି ଅଧିକ ହେଉଥିଲା । 1960ରୁ 1961 ମଧ୍ୟରେ ଭୌତିକ ଓ ରସାୟନ ଶାସ୍ତ୍ରର ଆନ୍ତଃଦେଶୀୟ ସମ୍ମେଳନ କାର୍ବନର 12 ଆଇସୋଟୋପକୁ ଭିତ୍ତି କରିବାରେ ସମ୍ମତ ହେଲେ, ଏହାର ବସ୍ତୁତ୍ୱ 12·000000 ବୋଲି ନିଆଗଲା । ଯଦି A ଗୋଟିଏ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥର ପାରମାଣିକ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବୁଝାଏ, A *g.* ପରିମାଣର ସେହି ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥକୁ ଏକ ଗ୍ରାମ ପାରମାଣିକ ଓଜନ କୁହାଯାଏ ଏବଂ A *kg.* ହେଲା 1 *kg* ପାରମାଣିକ ଓଜନ, ଆଭୋଗାଡ୍ରୋଙ୍କର ଅନୁମାନର ସଠିକତାରୁ ଦେଖାଗଲା ଯେ, ସମସ୍ତ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥର 1 *kg. at, ut,* ପରିମାଣର ବସ୍ତୁରେ ଏକା ସଂଖ୍ୟକ ପରମାଣୁ ରହିଅଛି; ଏହି ସଂଖ୍ୟା $6{\cdot}0225 \times 10^{26}$ ବୋଲି ବର୍ତ୍ତମାନ ଜଣାଯାଇଛି । ଆମେ ଏହାକୁ ଆଭୋଗାଡ୍ରୋ ସଂଖ୍ୟା ବୋଲି କହୁଥାଉ ଓ ଏହାକୁ N_A ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରିଥାଉ । କୌଣସି ଗ୍ୟାସୀୟ ଯୌଗିକ ପଦାର୍ଥରେ N_A ଅଣୁ ଏହାର 1 *kmole* ହେଇଥାଏ ।

4·2 ଆଦର୍ଶ ଗ୍ୟାସ :

ଡାନିଏଲ ବର୍ନୋଲି ୧୭୬୮ ମସିହାରେ ଗ୍ୟାସର ଅଣୁମାନଙ୍କର ଧାରକର କାନ୍ଥରେ ଆଘାତ ଦ୍ୱାରା ଗ୍ୟାସର ଚାପକୁ ବୁଝାଇଥିଲେ । ଏହିପରି ସେ ଗ୍ୟାସର ଗତିଜ ତତ୍ତ୍ୱର

ପାରମାଣିକ ଭିତ୍ତି ସ୍ଥାପନ କରିଥିଲେ । ଏହା ହେରାପାଥ (୧୮୨୧), ଓ୍ୱାଟର୍ସନ (୧୮୪୩) କ୍ରୋନିଂ (୧୮୫୬) ଓ କ୍ଲସିୟସ (୧୮୫୭)ଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଆହୁରି ଅଧିକ ଭାବରେ ଆଲୋଚିତ ହୋଇଥିଲା । ପ୍ରକୃତ ଗ୍ୟାସର ଅତିଶୟ ସ୍ଥୂଳ ମଡ଼େଲ ହେଲା ଆଦର୍ଶ ଗ୍ୟାସ—ଏଥିରେ ବହୁ ସଂଖ୍ୟକ ସର୍ବସମ ଏକ ପରମାଣୁ ବିଶିଷ୍ଟ ଅଣୁ ଥାଏ, ଏ ପ୍ରତ୍ୟେକର ଘନଫଳ ନଗଣ୍ୟ । ଏହି ଅଣୁଗୁଡ଼ିକ ଏଣେ ତେଣେ ସର୍ବଦା ଗତି କରୁଥାନ୍ତି ଓ ସେତେବେଳେ ସେମାନଙ୍କର ଗତିରେ ବହୁ ବିଭିନ୍ନତା ଦେଖାଯାଇଥାଏ । ଯେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ ଅଣୁ କୌଣସି କାନ୍ଥରେ ବା ଅନ୍ୟ କୌଣସି ଅଣୁ ସହିତ ଆଘାତ ପାଏ, ଆମେ ବର୍ତ୍ତମାନ ଧାରି ଧରିନେବା ଯେ ଏକ ଆଘାତ ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ଜାତୀୟ (ଏହି ସର୍ତ୍ତ ପରେ ଲାଘବ କରି ଦିଆଯାଇପାରେ; ଦେଖ ଅନୁ: ୪.୩) ଏହି ଅନୁମିତ ଆଣବିକ ବିଶୃଙ୍ଖଳାରେ ଧାରକ ମଧ୍ୟରେ ସବୁ ସ୍ଥାନ ଓ ଗତିବେଗର ସମସ୍ତ ଦିଗ ସମପରିମାଣରେ ସମ୍ଭବ ।

ଗୋଟିଏ ଅନ୍ୟଥା ଶୂନ୍ୟ ସମଘନାକାର ବାକ୍ସ ମଧ୍ୟରେ ବସ୍ତୁତ୍ୱ m ଓ ଗତି v ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ଅଣୁ ବିଷୟରେ ବିଚାର କର । ଏହାର ଦୈର୍ଘ୍ୟ L ହେଉ ଓ ଏହାର ଗୋଟିଏ କୌଣିକ ବିନ୍ଦୁରେ ମୂଳବିନ୍ଦୁ ଥିବା ଭଳି ରହି ବାକ୍ସର ଧାରଗୁଡ଼ିକ ବିଭିନ୍ନ ଅକ୍ଷ ସୂଚାଉ । ଉକ୍ତ ଗତିବେଗର x ସଂଯୋଜକ v_x ହେଉ । ଯେତେବେଳେ ଏହି ଅଣୁଟି Yz ସମତଳ ସହିତ ସମାନ୍ତର ଗୋଟିଏ କାନ୍ଥ ଆଘାତ ପାଇବ, ଏହାର ସଂଯୋଜକର x-ସଂଯୋଜକ $2mv_x$ ପରିମାଣରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇଯିବ । L/v_x ସମୟ ପରେ ଅଣୁଟି ବିପରୀତ ଦିଗରେ କାନ୍ଥରେ ଆଘାତ କରିବ ଓ $2L/v_x$ ସମୟ ପରେ ଏହା ପ୍ରଥମ କାନ୍ଥକୁ ଫେରି ଆସିବ । ତେଣୁ ଏକକ ସମୟ ମଧ୍ୟରେ ଏହି କାନ୍ଥରେ ଆଘାତର ସଂଖ୍ୟା ହେଲା $v_x/2L$ ଏବଂ ଗୋଟିଏ ଅଣୁ ପାଇଁ ଏହି କାନ୍ଥରେ ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ ସଂବେଗରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହେଲା

$$(2mv_x)\left(\frac{v_x}{2L}\right)=\left(\frac{mv_x^2}{L}\right)$$

ବର୍ତ୍ତମାନ ଆମେ ସର୍ବସମ ଅଣୁଗୁଡ଼ିଏ ଯୋଗ କରିଯିବା, ବାକ୍ସ ମଧ୍ୟରେ ଅଣୁ ସଂଖ୍ୟା ଆଭୋଗାଡ୍ରୋ N_A ହେବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଏହିପରି ଯୋଗ କରିଯିବା । ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇ ପାରିବ ଯେ, ଏହି କାନ୍ଥଠାରେ ସଂଯୋଜକରେ ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ ପରିଣାମୀ ପରିବର୍ତ୍ତନ ଯାହା ହେବ, ଅଣୁଗୁଡ଼ିକ ନିଜ ନିଜ ମଧ୍ୟରେ ବାଡ଼େଇ ନହେଲେ ତାହାହିଁ ହେବ; ତେଣୁ

$$\frac{\text{ସଂବେଗରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ}}{\text{ସେକେଣ୍ଡ}} = \frac{m}{L} \sum_{i=1}^{N_A} (v_x)_i^2$$

$$= N_A \frac{m}{L} (v_x^2)_{av}$$

ଏଠାରେ $(v_x^2)_{av}$ ହେଲା ସମସ୍ତ N_A ଅଣୁଙ୍କର v_x ମାନଙ୍କର ବର୍ଗର ହାରାହାରି ମାନ । ନିଉଟନଙ୍କ ଦ୍ୱିତୀୟ ନିୟମ ଅନୁସାରେ ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ ସଂବେଗରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ଗୋଟିଏ କାନ୍ଥରେ ହାରାହାରି ବଳ ସହିତ ସମାନ; ଏହା ଚାପ P ଓ କାନ୍ଥ କ୍ଷେତ୍ରଫଳ L^2 ର ଗୁଣଫଳ ସହିତ ସମାନ ।

$$F = pL^2 = \frac{N_A m (v_x)^2_{av}}{L} \qquad (୪.୧)$$

ବର୍ତ୍ତମାନ L^3 ହେଲା ବାକ୍ସର ଘନଫଳ ଓ 1 kmole ଦ୍ୱାରା ଅଧିକୃତ ଘନଫଳ । ଆମେ ଏହାକୁ V_m କହିବା ଓ ସମୀକରଣ (୪.୧)କୁ ପୁଣି ଲେଖିବା

$$pV_m = N_A m (v_x^2)_{av} \qquad (୪.୧କ)$$

ଏହିପରି ଯୁକ୍ତିଦ୍ୱାରା xy ଓ xz ସମତଳ ପ୍ରତି ସମାନ୍ତର କାନ୍ଥ ପାଇଁ ମିଳିବ

$$pV_m = N_A m (v_y^2)_{av} \text{ ଓ } pV_m = N_A m (v_z^2)_{av}$$

ଏଠାରେ P ସବୁ କାନ୍ଥ ପାଇଁ ସମାନ ବୋଲି ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜଣାଅଛି ।

ତେଣୁ $(v_x^2)_{av} = (v_y^2)_{av} = (v_z^2)_{av}$ ଓ $(v^2)_{av} = (v_x^2)_{av} + (v_y^2)_{av} + (v_z^2)_{av}$

ହୋଇଥିବାରୁ $pV_m = \frac{2N_A}{3}\left[\frac{1}{2} m (v^2)_{av}\right] \qquad (୪.୨)$

କିନ୍ତୁ. ଗ୍ୟାସର ସାଧାରଣ ନିୟମରୁ

$$pV_m = RT. \qquad (୪.୩)$$

ଏଠାରେ T ହେଲା ପରମ ତାପମାତ୍ରା ଓ R ହେଲା ସାର୍ବଜନୀନ ଗ୍ୟାସ ଧ୍ରୁବ, 8314 J/kmole$^{-\circ}$K । ସମୀକରଣ (୪.୨) ଓ (୪.୩)ର ତୁଳନାରୁ

$$\frac{1}{2} m (v^2)_{av} = \frac{3}{2} \frac{R}{N_A} T = \frac{3}{2} kT \qquad (୪.୪)$$

ମିଳେ । ଏଥିରୁ ମିଳୁଛି ଯେ, ଗୋଟିଏ ଆଦର୍ଶ ଗ୍ୟାସର ଗୋଟିଏ ଅଣୁର ବିସ୍ଥାପନ ଜନିତ ହାରାହାରି ଗତିଜ ଶକ୍ତି ପରମ ତାପମାତ୍ରାର ଅନୁପାତୀ । ସାର୍ବଜନୀନ ଗ୍ୟାସ ଧ୍ରୁବର ଆଭୋଗାଡ୍ରୋ ସଂଖ୍ୟା ପ୍ରତି ଅନୁପାତ k ବୋଲ୍ତଜମାନ ଧ୍ରୁବ ଭାବରେ ପରିଚିତ । ଏହାର ମୂଲ୍ୟ $1{\cdot}38 \times 10^{-23}$ J/molecule^{-0}K ।

ପର ଅଧ୍ୟାୟମାନଙ୍କର ଯେଉଁ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ kT ବାରମ୍ବାର ଦେଖାଦେବ, ତା'ର ମୂଲ୍ୟ 290°Kଠାରେ 4×10^{-21} J ବା $\frac{1}{40}$ eV । ଏହି ତାପମାତ୍ରା କୋଠରିର ତାପମାତ୍ରାଠାରୁ ସାମାନ୍ୟ କମ୍ । ଶତକଡ଼ା 00·2ରୁ କମ୍ ସଂଖ୍ୟକ ଅଣୁଙ୍କର ଗ୍ୟାସରେ 10 kT ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଅଧିକ ଶକ୍ତି ରହିଥାଏ ।

ଯେଉଁ ଅବସ୍ଥାରେ ପ୍ରକୃତ ଗ୍ୟାସ ପାଇଁ ସାଧାରଣ ଗ୍ୟାସ ନିୟମ ସମୀକରଣ (୪·୩) ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇପାରିବ, ସେ ଅବସ୍ଥାରେ ପ୍ରକୃତ ଗ୍ୟାସ ପାଇଁ ଆଦର୍ଶ ଗ୍ୟାସ ଲାଗି ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ ଏହି ସମୀକରଣ (୪·୪) ଲାଗୁହେବ । କୋଠରିର ତାପମାତ୍ରାରେ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ, ନାଇଟ୍ରୋଜେନ ଅକ୍ସିଜେନ ଓ କାର୍ବନ ଡାଇ-ଅକ୍ସାଇଡ୍ ବାୟୁମଣ୍ଡଳରେ ସମସ୍ତେ ବିସ୍ଥାପନ-ଜନିତ ସମାନ ହାରାହାରି ଗତିଜ ଶକ୍ତି ଲାଭ କରିଥାନ୍ତି । ତେଣୁ ପ୍ରତି ପ୍ରକାରର ହାରାହାରି ଗତିର ବର୍ଗରେ ବର୍ଗମୂଳ [ଗୁଡ଼ବର୍ଗର ମୂଳ] $v_{rms} = [(v^2)_{av}]^{\frac{1}{2}}$ ସେମାନଙ୍କର ଅଣୁମାନଙ୍କର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ପ୍ରତି ବ୍ୟସ୍ତମାନୁପାତୀ । ତାପମାତ୍ରା କମାଇବା ଦ୍ୱାରା ଅଣୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଆକର୍ଷଣଜନିତ ବଳ ଅଧିକ ପ୍ରାଧାନ୍ୟ ଲାଭ କରିଥାଏ ଓ ଗ୍ୟାସ ତରଳ ପଦାର୍ଥରେ ପରିଣତ ହୋଇଥାଏ (ପୁରାତନ ଧାରଣାରୁ ତରଳ ଓ କଠିନ ପଦାର୍ଥକୁ ପ୍ରସାରିଲେ 8kରେ ସମସ୍ତ ପାରମାଣିକ ଓ ଆଣବିକ ଗତି ବନ୍ଦ ହୋଇଯାଏ ବୋଲି ସିଦ୍ଧାନ୍ତ ହୁଏ, କିନ୍ତୁ ଏପରି ପ୍ରସାରଣ ଠିକ୍ ନୁହେଁ । (କ୍ୱାଣ୍ଟମ୍ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀରୁ 0°kରେ ଶୂନ୍ୟ-ବିନ୍ଦୁ ଗତି ମିଳିଥାଏ) ।

4·3 ମୁକ୍ତିମାତ୍ରା ଓ ଶକ୍ତିର ସମବଣ୍ଟନ :

ଯେକୌଣସି ଯାନ୍ତ୍ରିକ ବ୍ୟବସ୍ଥାର କେତେକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ସଂଖ୍ୟକ ମୁକ୍ତିମାତ୍ରା (degrees of fredom) ରହିଛି । ମୁକ୍ତ ମାତ୍ରା କହିଲେ, ଅତି କମ୍‌ରେ ପରସ୍ପର ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଯେତେଟି

ସ୍ଥାନାଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ସଂସ୍ଥାଟିରେ ଥିବା ସମସ୍ତ ବସ୍ତୁକଣର ଅବସ୍ଥାନ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ କରି ଦିଆଯାଇଥାଏ, ତାକୁହିଁ ବୁଝାଇଥାଏ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ; ଗୋଟିଏ ଗୁଳି ଗୋଟିଏ ନାଳୀ ମଧ୍ୟରେ ଖସି ଖସି ଯାଏ, ତେବେ ତା'ର ଗୋଟିଏ ମୁକ୍ତମାତ୍ରା; ଯଦି ଗୁଳିଟି ବରଫ ଉପରେ ଖସି ଖସି ଯାଉଥାଏ ଓ ତା'ର ଘୂର୍ଣ୍ଣନର ସମ୍ଭାବନା ନଥାଏ, ତେବେ ତା'ର ଦୁଇଟି ମୁକ୍ତମାତ୍ରା, ଯଦି ଏହା ଗୋଟିଏ ଅଭିଲମ୍ବ ଅକ୍ଷ ଚାରିପଟେ ଘୂରିପାରେ, ତେବେ ତା'ର ତିନୋଟି ମୁକ୍ତମାତ୍ରା । ଗୋଟିଏ ଏକ ପାରମାଣିକ ଗ୍ୟାସର ଅଣୁଗୁଡ଼ିକର କେବଳ ସ୍ଥାନାନ୍ତରଣ ଶକ୍ତି ଅଛି ବୋଲି ଧରନେଲେ ଏହାର ତିନି ସ୍ଥାନାଙ୍କ x, y, z ଅନୁସାରେ (ବା r, θ, ϕ) ତିନୋଟି ମୁକ୍ତମାତ୍ରା ରହିଅଛି—ଏହାଦ୍ୱାରା ସ୍ଥାନ ମଧ୍ୟରେ ଏହାର ଅବସ୍ଥାନ ସ୍ଥିରୀକୃତ ହେଉଅଛି । ଗୋଟିଏ ଆଦର୍ଶ ଦ୍ୱିପାରମାଣିକ ଅଣୁ ଦୁଇଟି ବସ୍ତୁକଣ-ବିନ୍ଦୁ ପରମାଣୁକୁ ନେଇ ଗଠିତ—ଏହାର ଛଅଟି ମୁକ୍ତମାତ୍ରା, ଏଗୁଡ଼ିକୁ ପରମାଣୁ ଦୁଇଟିର ସ୍ଥାନାଙ୍କ ଭାବରେ ନିଆଯାଇ ପାରେ, ବା ବିକଳ୍ପରେ ଭାର କେନ୍ଦ୍ରର ତିନୋଟି ସ୍ଥାନାଙ୍କ, ଅଣୁର ଅକ୍ଷଟି ସ୍ଥିର କରିବା ପାଇଁ ଦୁଇଟି କୌଣିକ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ଏବଂ ଷଷ୍ଠଟି ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁର ଭାରକେନ୍ଦ୍ରଠାରୁ ଦୂରତା ସ୍ଥିର କରିବାପାଇଁ ନେବାକୁ ହେବ । ଯଦି ଦୁଇ ପରମାଣୁ ମଧ୍ୟରେ ଦୂରତା ସ୍ଥିର ରହେ; କେବଳ ପାଞ୍ଚଟି ସ୍ଥାନାଙ୍କ ଦରକାର ହେବ ଏବଂ ସେହି କାରଣରୁ ସେତେବେଳେ କେବଳ ପାଞ୍ଚଟି ମୁକ୍ତମାତ୍ରା ରହିବ । ସାଧାରଣ ଭାବରେ କହିଲେ, ଗୋଟିଏ ତ୍ରିପାରମାଣିକ ଅଣୁର ନଅଟି ମୁକ୍ତମାତ୍ରା; କିନ୍ତୁ ଗୋଟିଏ ସମତଳରେ ଯଦି ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ବ୍ୟବଧାନ ସ୍ଥିର ରହେ, ତେବେ ଏହି ସଂଖ୍ୟା ଛଅକୁ କମିଯିବ ଓ ପୁଣି ପାଞ୍ଚ ହୋଇଯିବ ଯଦି ସେମାନେ ଗୋଟିଏ ସରଳରେଖାରେ ବାନ୍ଧହୋଇ ରହିଯିବେ ।

ମୁକ୍ତମାତ୍ରାଗୁଡ଼ିକ ଯୋଗ କରାଯାଇଥାଏ; କେତେଗୁଡ଼ିଏ ବ୍ୟଷ୍ଟିକୁ ନେଇ ଗଠିତ ଗୋଟିଏ ସଂସ୍ଥାର ମୋଟ ମୁକ୍ତମାତ୍ରା, ସେ ସଂସ୍ଥାଟିର ଗଠନରେ ଯେତେଗୁଡ଼ିଏ ବ୍ୟଷ୍ଟି ଥାନ୍ତି, ସେମାନଙ୍କର ମୁକ୍ତମାତ୍ରାମାନଙ୍କର ସମଷ୍ଟି । ପ୍ରଶ୍ନରେ ଥିବା ସଂସ୍ଥାଟିର ଗତିଜ ଶକ୍ତି ପ୍ରକାଶ କରିବାପାଇଁ ଲେଖାଯିବା ଉକ୍ତିରେ ପ୍ରତି ମୁକ୍ତମାତ୍ରା ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ପଦ ରହିବ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ଏକ ପାରମାଣିକ ଅଣୁଗୁଡ଼ିକର ସତେ ଯେପରି କେବଳ ସ୍ଥାନାନ୍ତରଣ ଶକ୍ତି ରହିଥାଏ । ଏମାନଙ୍କର ହାରାହାରି ଗତିଜ ଶକ୍ତି ସମୀକରଣ (୪'୪) ଅନୁସାରେ $K_{av} = \frac{3}{2}kT$ ଏବଂ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଅଣୁର ତିନିଗୋଟି ମୁକ୍ତମାତ୍ରା ରହିଥାଏ; ତେଣୁ

ହାରାହାରି ପ୍ରତି ମୁକ୍ତମାତ୍ରା ପାଇଁ $\frac{1}{2}kT$ ଶକ୍ତି ମିଳିଥାଏ । ଶକ୍ତିର ପୁରାତନ ସମବଣ୍ଟନ ନିୟମ ପ୍ରକାଶ କରେ ।

ଗୋଟିଏ ସଂସ୍ଥା ତାପୀୟ ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ରହିବାପାଇଁ ପ୍ରତି ମୁକ୍ତମାତ୍ରା ପାଇଁ ହାରାହାରି ସମାନ ମୂଲ୍ୟର ଶକ୍ତି ବା $\frac{1}{2}kT$ ଶକ୍ତି ରହିଥାଏ ।

ଏହି ତତ୍ତ୍ୱ ୧୮୫୭ ମସିହାରେ କ୍ଲସିୟସ ଦେଇଥିଲେ ଏବଂ ମାକ୍ସୱେଲ ୧୮୬୦ ମସିହାରେ ବ୍ୟବହାର କରିଥିଲେ । ଏହି ନୀତିକୁ ବ୍ୟବହାର କରି ଏକ ପାରମାଣିକ ଅଣୁମାନଙ୍କର ବିଶିଷ୍ଟ ତାପ ଓ କେତେକ କଠିନ ପଦାର୍ଥଙ୍କର ବିଶିଷ୍ଟ ତାପ ବୁଝାଯାଇ ପାରିଥିଲା; କିନ୍ତୁ ଏହା ଅନ୍ୟ ଗ୍ୟାସମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଓ ସମସ୍ତ କଠିନ ପଦାର୍ଥଙ୍କ ପାଇଁ ନିମ୍ନ ତାପମାତ୍ରା ସମୟରେ ବିଫଳ ହୋଇଥିଲା । ଏହି ବିଶିଷ୍ଟ ତାପ ପ୍ରହେଳିକା କ୍ୱାଣ୍ଟମ୍ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀର ଅଭ୍ୟୁଦୟ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ବୁଝାଯାଇ ପାରିନଥିଲା । ଗୋଟିଏ ଆଦର୍ଶ ଏକ ପାରମାଣିକ ଗ୍ୟାସ ପାଇଁ ପ୍ରତି କିଲୋମୋଲ୍ ଗ୍ୟାସର ଶକ୍ତି E_m ହେଲା N_A ଓ ପ୍ରତି ଅଣୁ ପାଇଁ ହାରାହାରି ଗତିଜଶକ୍ତିର ଗୁଣଫଳ । ତେଣୁ, ସମୀକରଣ (୪.୪) ଦ୍ୱାରା $E_m = N_A(3RT/2N_A) = \frac{3}{2}RT$ । ଧ୍ରୁବ ଆୟତନ ଥିବାବେଳେ ପ୍ରତି କିଲୋମୋଲ୍ ପାଇଁ ତାପ ଧାରକତ୍ୱ $(c_v)_{kmole} = (\partial E_m/\partial T)_v = \frac{3}{2}R$ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୁଏ । ଏକ ପାରମାଣିକ ଗ୍ୟାସମାନଙ୍କ ପାଇଁ ପରୀକ୍ଷା ଲବ୍ଧ ମୂଲ୍ୟ ସହିତ ଏହା ଅତି ଉତ୍ତମ ଭାବରେ ମିଳି ଯାଇଥାଏ; ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ: କୋଠରୀର ତାପମାତ୍ରାରେ ହିଲିୟମ୍ ପାଇଁ $c_v/R = 1.52$ ଓ ଆର୍ଗନ ପାଇଁ 1.51 ।

ଗୋଟିଏ Rigid ଦ୍ୱିପାରମାଣିକ ଅଣୁର ପାଞ୍ଚଟି ମୁକ୍ତମାତ୍ରା ହେଲେ, ସମବଣ୍ଟନ ନିୟମରୁ ମିଳୁଛି ଯେ, $E_m = \frac{5}{2}kT$, ତେଣୁ $c_v/R = \frac{5}{2}$ ହେବା ଉଚିତ ପରୀକ୍ଷା ଲବ୍ଧ ମୂଲ୍ୟ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପାଇଁ 2.44, ନାଇଟ୍ରୋଜେନ୍ ପାଇଁ 2.45 ଅକ୍ସିଜେନ ପାଇଁ 2.50 । ହେଲେ ବି, ଏହି ଅନୁପାତ କ୍ଲୋରିନ ପାଇଁ 3.02—ଏହା ଗୋଟିଏ ସମସ୍ୟା ସୃଷ୍ଟି କଲା; ଯଦି ପରମାଣୁ ଦୁଇଟି ଦୃଢ଼ ଭାବରେ ଆବଦ୍ଧ ହୋଇ ରହିଥାଆନ୍ତି, ଏ ଅନୁପାତ 2.5 ହେବା ଉଚିତ; ଯଦି ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ଦୋଳନ କରିବାକୁ ସମର୍ଥ, ଏହା 3.5 ହେବା ଉଚିତ । ଏହି ସରଳ ଦୋଳନ ଯୋଗ କଲେ ଛଅଟି ମୁକ୍ତମାତ୍ରା ହେଉଅଛି,

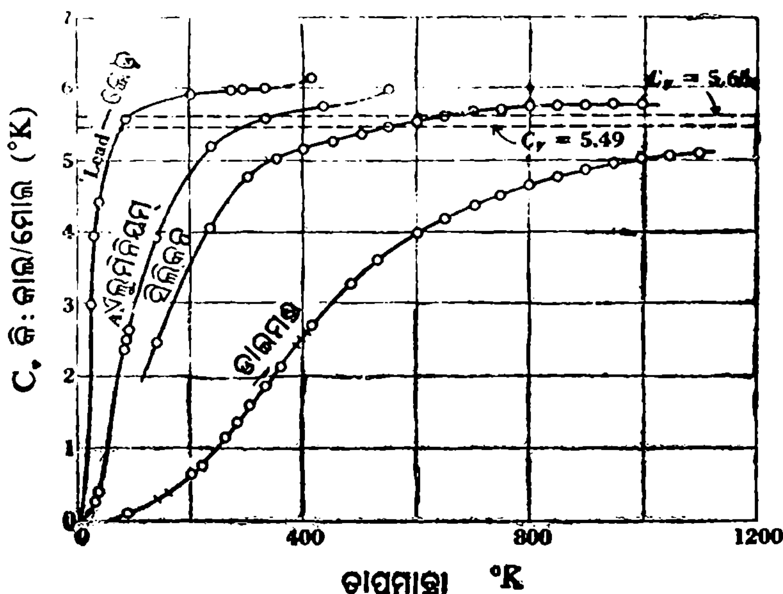
ହାରାହାରି ଗତିଜଶକ୍ତି ସହିତ ସେହି $\frac{1}{2}kT$ ଶକ୍ତି ପରମାଣୁର ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ମିଶି ରହିବା ଦରକାର । HOH ଓ SO_2 ପରି ଅଣୁମାନଙ୍କ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ମଧ୍ୟ ସେହିପରି ସମସ୍ୟା ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଥାଏ—ଏମାନଙ୍କ ପାଇଁ କୋଠରୀର ତାପମାତ୍ରାରେ cv/Rର ମୂଲ୍ୟ ଯଥାକ୍ରମେ 3·3 ଓ 3·79 ହୋଇଥାଏ ।

ଯଦି ବହୁ ପାରମାଣିକ ଅଣୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଆଘାତ ଫଳରେ ସ୍ଥାନାନ୍ତରଣ ଶକ୍ତି ସହ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ (ବା ଦୋଳନ) ଶକ୍ତିର ବିନିମୟ ଘଟେ, ଅନୁ: (୪·୨)ରେ ଅନୁମାନ କରାଯାଇଥିବା ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ଆଘାତର ଧାରଣା ଆଉ ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ହେବନାହିଁ । ପ୍ରକୃତରେ ଆଘାତଗୁଡ଼ିକ ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ହେବା କିଛି ଦରକାର ନାହିଁ, କେବଳ ସମୀକରଣ (୪·୨)ରେ $(v^2)_{av}$ ଧ୍ରୁବ ରହିବା ଦରକାର । ଯେତେବେଳେ ସଂସ୍ଥାଟି ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ରହେ, ସେତେବେଳେ ଏହି ସର୍ତ୍ତ ପୂରଣ ହୋଇଥାଏ କାରଣ ସାମ୍ୟାବସ୍ଥା ଅର୍ଥ ସମସ୍ତ ଅନୁସାରେ $(v^2)_{av} = v^2_{rms}$ ପରି macroscopic ରାଶିଗୁଡ଼ିକ ଅପରିବର୍ତ୍ତିତ ରହିବା ।

୧୮୧୯ରେ ଡୁଲଙ୍ଗ୍ ଓ ପେଟିଟ୍ ଦେଖିଲେ ଯେ "ପାରମାଣିକ ଓଜନ ଓ ବିଶିଷ୍ଟ ତାପର ଗୁଣଫଳ ସମସ୍ତ ମୌଳିକ ବସ୍ତୁ (କଠିନ ପଦାର୍ଥ) ପାଇଁ ଏକା ରହେ ।" ଏହି ଗୁଣଫଳକୁ "ପାରମାଣିକ ତାପ" କୁହାଯାଏ; ଏହା ସଂଖ୍ୟାରେ ଏକ କିଲୋମୋଲ୍‌ର ତାପ ଧାରକତ୍ୱ ସହ ସମାନ । ସାଧାରଣ ତାପମାତ୍ରାରେ ଡୁଲଙ୍ଗ ଓ ପେଟିଟ୍‌ଙ୍କର ଏ ନିୟମ ବହୁ ବସ୍ତୁ ପାଇଁ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହୋଇଥାଏ; 5·8 ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥଙ୍କ ପାଇଁ ପ୍ରତି କିଲୋମୋଲ୍‌ର ତାପ ଧାରକତ୍ୱ 2·7 Rରୁ 3.5R ପରିସର ମଧ୍ୟରେ ରହେ ଓ ସେମାନଙ୍କର ହାରାହାରି ମୂଲ୍ୟ 3·1 R ହୁଏ ।

ତଥାପି ଏଥିରେ କେତେକ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ବ୍ୟତିକ୍ରମ ଘଟିଥାଏ । ଏଥିମଧ୍ୟରେ ପ୍ରଧାନ ହେଲେ ବୋରନ୍—ଏହାର ତାପ ଧାରକତ୍ୱ 1·7R; ବେରିଲିୟମର ତାପଧାରକତ୍ୱ 1·9R; ଡାଏମଣ୍ଡ (କାର୍ବନ)ର 0·73R ଓ ସିଲିକନ୍‌ର 2·5R । ଏଗୁଡ଼ିକ ସମସ୍ତେ ଲଘୁ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ ଓ ଏମାନଙ୍କର ତରଳାଙ୍କଗୁଡ଼ିକ ଅତି ଉଚ୍ଚ । ବହୁ ପରୀକ୍ଷଣରେ ଗବେଷଣା କେବାରୁ ଜଣାଗଲା ଯେ, ଏମାନଙ୍କର ତାପ ଧାରକତ୍ୱ ତାପମାତ୍ରା ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଅତି ବେଗରେ ବଢ଼ିଥାଏ ଯଥା: ୧୮୭୨ ମସିହାରେ ଓ୍ୱେବର ଦେଖିଲେ ଯେ 0 ଓ 200°C ମଧ୍ୟରେ ଡାଏମଣ୍ଡର ବିଶିଷ୍ଟ ତାପ ତିନିଗୁଣ ହୋଇଯାଏ । ପରେ ଦେଖାଗଲା

ଯେ, ଯଦି ତାପମାତ୍ରା ଯଥେଷ୍ଟ ପରିମାଣରେ କମାଇ ଦିଆଯାଏ, ତେବେ ପ୍ରତ୍ୟେକ ବସ୍ତୁର ତାପ ଧାରକତ୍ୱ ଅତିମାତ୍ରାରେ କମିଯିବ, 0°Kରେ ଶୂନ୍ୟଆଡ଼କୁ ଏହା ଆଗେଇଯିବ ।



[ଚିତ୍ର ୪-୧ ଧ୍ରୁବ ଆୟତନରେ ତାପମାତ୍ରା ଅନୁସାରେ ପ୍ରତି କିଲୋମୋଲ୍ ପାଇଁ ତାପ ଧାରକତ୍ୱରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ]

ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କ ପାଇଁ ମିଳୁଥିବା ସାଧାରଣ ରେଖାସବୁ (ଚିତ୍ର ୪-୧) ଆକାରରେ ଏକାପରି ଅର୍ଥାତ୍ ସେଗୁଡ଼ିକୁ ପ୍ରତ୍ୟେକ ପାଇଁ ତାପମାତ୍ରାର ଉପଯୁକ୍ତ ସ୍କେଲ୍ ନେଇ (ପ୍ରାୟ) ମିଳାଇ ଦିଆଯାଇ ପାରିବ । ଏପରି ଚମତ୍କାରପ୍ରଦ ନିୟମିତତାର ଭିତ୍ତି କୌଣସି ସରଳ ସାଧାରଣ ନିୟମରେ ରହିଅଛି (ଅନୁ: ୨୦-୭ରେ ଆଲୋଚିତ ହୋଇଅଛି) । ପୁରାତନ ତତ୍ତ୍ୱ ବୁଝାଉଛି ଯେ, କଠିନ ପଦାର୍ଥରେ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ସେମାନଙ୍କର ଗଡ଼ ଅବସ୍ଥାନ ଚତୁଃପାର୍ଶ୍ୱେ ଦୋଳନ କରୁଥାଏ, ସରଳ ଆବର୍ତ୍ତୀ ଦୋଳକ ପରି କାର୍ଯ୍ୟ କରିଥାଏ, ଏମାନଙ୍କର ଉତ୍କୋଷ୍ଟି ଲେଖାଏଁ ମୁକ୍ତମାତ୍ରା ଥାଏ । ପ୍ରତି କିଲୋମୋଲ ପାଇଁ ତାପ ଧାରକତ୍ୱ $\frac{3}{2}R$ ଗତିଜ ଶକ୍ତି

ପାଇଁ ଓ $\frac{3}{2}R$ ଏଥିସହ ସଂପୃକ୍ତ ସ୍ଥିତଜ ଶକ୍ତି ପାଇଁ—ଏହିପରି 3R । ଏହା ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ଫଳ ସହିତ ମୋଟାମୋଟି ମିଳିଯାଇଥାଏ । ତେବେ, ପୁରାତନ ତତ୍ତ୍ୱରୁ ସ୍ୱଳ୍ପ ତାପମାତ୍ରାରେ ଅତି ବେଗରେ ତାପ ଧାରକତ୍ୱ କମିଯାଉଥିବାର କୌଣସି ଯୁକ୍ତି ମିଳେନାହିଁ ।

4·4 ମାକ୍ସୱେଲୀୟ ବଣ୍ଟନ :

ଗତିଜ ତତ୍ତ୍ୱର ଅତି ପ୍ରାରମ୍ଭରୁ ସ୍ୱୀକାର କରାଯାଇଅଛି ଯେ, ଗ୍ୟାସ ଅଣୁମାନଙ୍କର ବେଗ କୌଣସି ଏକ ସମୟରେ ବହୁ ପରାସର ମଧ୍ୟରେ ବଦଳିବ ଏବଂ କୌଣସି ଏକ ଅଣୁର ବେଗ ସମସ୍ତ ଅତିବାହିତ ହେବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଅନ୍ୟ ଅଣୁମାନଙ୍କ ସହ ଆଘାତ ଫଳରେ ସେହିପରି ପରାସର ମଧ୍ୟରେ ବଦଳିବ । ୧୮୫୯ରେ ମାକ୍ସୱେଲ ଗୋଟିଏ ଶ୍ରେଷ୍ଠ କିନ୍ତୁ ଅତି ମୂଲ୍ୟବାନ ପ୍ରବନ୍ଧରେ ନମ୍ନଦତ୍ତ ଯୁକ୍ତି ସାହାଯ୍ୟରେ ଗତିବେଗର ବଣ୍ଟନ ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ କରିଥିଲେ ।

Nଟି ସର୍ବସମ ଅଣୁମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଗୋଟିଏ ଗ୍ୟାସ ଗଠିତ ହେଉ, ଏ ପ୍ରତ୍ୟେକର ଗତିବେଗର ସଂଯୋଜକଗୁଡ଼ିକ v_x, v_y, v_z ହେଉ । ଯେଉଁ ଅଣୁମାନଙ୍କ ଲାଗି v_x ଟି v_x ଓ $v_x + dv_x$ ମଧ୍ୟରେ ରହୁଛି, ସେଗୁଡ଼ିକର ସଂଖ୍ୟା $Nf(v_x)\ dv_x$ ହେଉ, ଏଠାରେ $f(v_x)$ ଫଳନଟି ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରିବାକୁ ହେବ । ସେହିପରି ଯେଉଁ ଅଣୁଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ v_y ଟି v_y ଓ $v_y + dv_y$ ମଧ୍ୟରେ ପଡ଼ିବ, ସେଗୁଡ଼ିକର ସଂଖ୍ୟା $Nf(v_y)dv_y$ ଏବଂ ଯେଉଁ ଅଣୁଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ v_zଟି v_z ଓ $v_z + dv_z$ ମଧ୍ୟରେ ପଡ଼ିବ, ସେଗୁଡ଼ିକର ସଂଖ୍ୟା $Nf(v_z)\ dv_z$ ହେବ; ଏଠାରେ f ସର୍ବଦା ଏକା ଫଳନ ବୁଝାଉଅଛି ।

ଏହାପରେ ମାକ୍ସୱେଲ କହିଲେ ଯେ, v_xର ମୂଲ୍ୟ କୌଣସିମତେ v_y ବା v_z ର ମୂଲ୍ୟକୁ ପ୍ରଭାବିତ କରିବ ନାହିଁ, କାରଣ ସେମାନେ ପରସ୍ପର ପ୍ରତି ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ରହିଛନ୍ତି ଓ ପରସ୍ପରଠାରୁ ମୁକ୍ତ । ତେଣୁ, ଯେଉଁ ଅଣୁମାନଙ୍କର ଗତିବେଗର ସଂଯୋଜକ v_x ଓ $v_x + dv_x$, v_y ଓ $v_y + dv_y$, v_z ଓ $v_z + dv_z$ ସେଗୁଡ଼ିକର ସଂଖ୍ୟା ହେବ, $Nf(v_x)\ f(v_y)\ f(v_z)\ dv_x\ dv_y\ dv_z$ ।

ଯଦି ଆମେ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଗତିବେଗକୁ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ଦାଗଦିଆ ଭେକ୍ଟରରେ ସେଗୁଡ଼ିକର ପୃଷ୍ଠଦେଶକୁ ମୂଳବିନ୍ଦୁରେ ରଖି ପ୍ରକାଶ କରୁ, ଏହିସ୍ଥାନ ମଧ୍ୟରେ କୌଣସି ଘନଏକକ $dv_x\ dv_y\ dv_z$ରେ ଶେଷ ହେଉଥିବା ଭେକ୍ଟରମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ଠିକ୍ ସେହି $Nf(v_x)\ f(v_y)\ f(v_z)\ dv_x\ dv_y\ dv_z$ ହୁଏ । ଯେହେତୁ x, y ଓ z ଅକ୍ଷଗୁଡ଼ିକ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣଭାବେ ମନଇଚ୍ଛା ନିଆଯାଇଅଛି, ଏହି ସଂଖ୍ୟା କେବଳ ମୂଳବିନ୍ଦୁଠାରୁ ଦୂରତା ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିବ ଏବଂ ସେହି କାରଣରୁ $f(v_x)\ f(v_y)\ f(v_z)$ କେବଳ ବେଗର କୌଣସି ଫଳନ (ବା ଏହାର ବର୍ଗର କୌଣସି ଫଳନ) ହେବ । ଅତଏବ $f(v_x)\ f(v_y)\ f(v_z) = \phi(v_x^2+v_y^2+v_z^2) = \phi(v^2)$

ଏହି ଫଳନ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ସମୀକରଣର ସମାଧାନ କଲେ ହେବ

$$f(v_x) = c\, e^{-Av_x^2} \qquad (୪\cdot୫କ)$$

ଏବଂ

$$\phi(v^2) = Dc^{-Av^2} \qquad (୪\cdot୫ଖ)$$

ଏଠାରେ C, D ଓ A ଗୁଡ଼ିକ ଯୁକ୍ତଧ୍ରୁବ । A ସହିତ ବିଯୁକ୍ତ ଚିହ୍ନ ରହିଅଛି କାରଣ ଘନସ୍ଥାନ ମଧ୍ୟରେ କୌଣସି ଘନ ଏକକ ମଧ୍ୟରେ କଣିକା ସଂଖ୍ୟା ସର୍ବଦା ବଢ଼ୁଥିବା ଯୁକ୍ତ ଚିହ୍ନରୁ ସୂଚିତ ହେବ ।

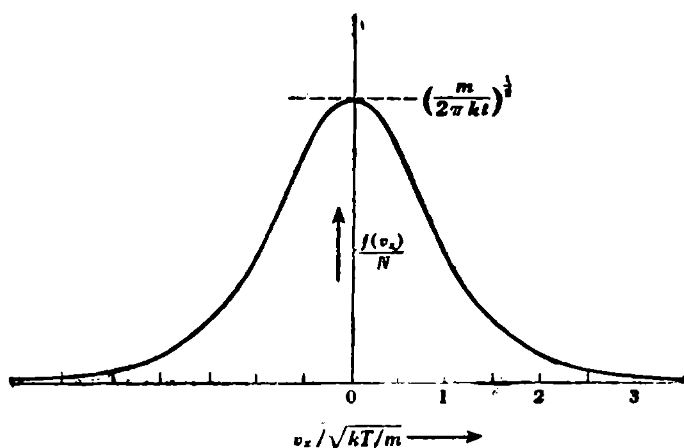
ପରିଶିଷ୍ଟ 4Aରେ A, C ଓ D ଧ୍ରୁବଗୁଡ଼ିକ ମୋଟ କଣିକା ସଂଖ୍ୟା N ଓ ମୋଟ ଗତିଜ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ $\frac{3}{2}NkT$ ସହିତ ନେଇ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଇଅଛି । ସମୀକରଣ (୪'୫) ରେ ଏହି ମୂଲ୍ୟଗୁଡ଼ିକ ବସାଇଲେ ମିଳୁଛି ଯେ, v_xଟି v_x ଏବଂ v_x+dv_x ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ଅଣୁମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା

$$N f(v_x)\, dv_x = N\left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{\frac{1}{2}} e^{-mv_x^2/2kT}\, dv_x \qquad (୪\cdot୬)$$

କରୁ ଯେଉଁ ଅଣୁମାନଙ୍କର ଗତିବେଗ ν ଓ ଏ ν ର ସଂଯୋଜକ ν_x ଓ $\nu_x+d\nu_x$, ν_y ଓ $\nu_y+d\nu_y$, ν_z ଓ $\nu_z+d\nu_z$ ମଧ୍ୟରେ ରହିବ, ସେଗୁଡ଼ିକର ସଂଖ୍ୟା

$$N\,\phi\,(\nu^2)\,d\nu_x\,d\nu_y\,d\nu_z = N\left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{\frac{3}{2}} e^{-m\nu^2/2kT}\,d\nu_x\,d\nu_y\,d\nu_z$$

(୪.୭)



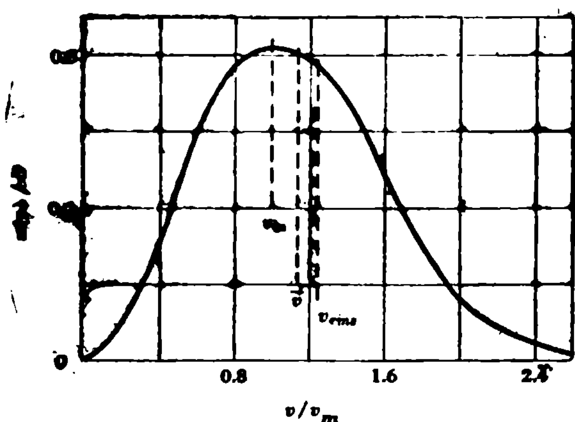
[ଚିତ୍ର ୪.୨ ଆଣବିକ ଗତିବେଗର x ସଂଯୋଜକର ମାକ୍ସୱେଲୀୟ ବଣ୍ଟନ]

ν ଓ $\nu+d\nu$ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ଅଣୁମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରିବା ପାଇଁ ଗତିବେଗ ସ୍ଥାନର $d\nu_x\,d\nu_y\,d\nu_z$ ଘନ ଏକକ ସ୍ଥାନରେ $4\pi\nu^2 d\nu$ ଘନ ଏକକ ନେବା । ଏପରି ପାଇବା

$$n(\nu)\,d\nu = N\,4\pi\nu^2\phi\,(\nu^2)\,d\nu$$

$$= N\left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{\frac{3}{2}} e^{-m\nu^2/2kT}\,4\pi\nu^2 d\nu \qquad (୪.୮)$$

ଚିତ୍ର ୪.୨ ଓ ୪.୩ ଯଥାକ୍ରମେ ν_x ଓ ν ପାଇଁ ମାକ୍ସୱେଲୀୟ ବଣ୍ଟନ ଦେଖାଉଛନ୍ତି ।



[ଚିତ୍ର ୪.୩ ଆଣବିକ ବେଗଗୁଡ଼ିକର $v_m=\sqrt{2kT/m}$ ଏକକରେ ମାକ୍ସୱେଲୀୟ ବଣ୍ଟନ]

ତେବେ ହାରାହାରି ଆଣବିକ ଗତି v ହେଲା

$$\bar{v} = \int_0^\infty v \left(\frac{m}{2\pi kT}\right)^{\frac{3}{2}} \frac{N4\pi v^2}{N} e^{-mv^2/2kT}\, dv$$

$$= \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}} \qquad (୪.୯)$$

ଆଉ ସର୍ବାଧିକ ସାମ୍ଭବ୍ୟ ଗତି v_m ହେଲା

$$v_m = \sqrt{\frac{2kT}{m}} \qquad (୪.୯କ)$$

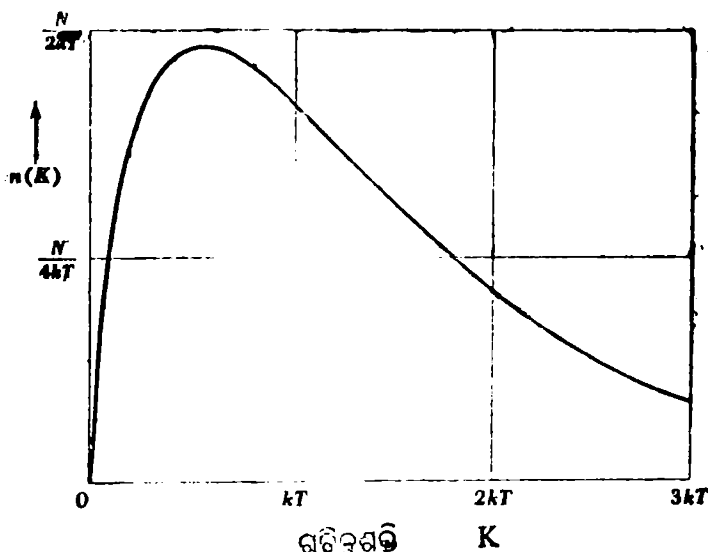
ତେଣୁ କୌଣସି ଦତ୍ତ ତାପମାତ୍ରାରେ

$$v_m : \bar{v} : v_{rms} = 1 : 1.1284 : 1.2248$$

ସମୀକରଣ (୪.୮) କୁ ଗତିଜ ଶକ୍ତି k କୁ $\frac{1}{2}mv^2$ ଓ $dk = mv\,dv$ ନେଲେ ସ୍ଥାନାନ୍ତରଣ ଶକ୍ତିର ମାକ୍ସୱେଲୀୟ ବଣ୍ଟନ ସୂତ୍ରଟି ବାହାର କରି ହେବ । ସେତେବେଳେ

ଗତିଜ ଶକ୍ତି k ଓ $k+dk$ ମଧ୍ୟରେ ଗତିଜ ଶକ୍ତି ଥିବା ଅଣୁମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା $n(k)\,dk$ ଚିତ୍ର ୪.୪) ହେବ

$$u(K)\,dK=\frac{2N\sqrt{K}\,e^{-K/kT}\;dK}{\sqrt{\pi}\;(kT)^{\frac{3}{2}}} \qquad (୪.୧୦)$$



[ଚିତ୍ର ୪.୪ ଅଣୁର ଗତିଜ ଶକ୍ତିର ମାକ୍ସୱେଲୀୟ ବଣ୍ଟନ]

4·5 ବୋଲ୍ଜମ୍ୟାନ ବଣ୍ଟନ :

ଗୋଟିଏ ସମତାପମାତ୍ରାରେ ଥିବା ବାୟୁମଣ୍ଡଳର (ବୋଲ୍ଜମାନ ୮୭୭) ଗଣତୀଳ ସାମ୍ୟାବସ୍ଥା ବିଷୟ କର । ଏଥିରେ ଅଣୁଗୁଡ଼ିକ ସର୍ବଦା ଗୋଟିଏ ଧ୍ରୁବ ମହାକର୍ଷଣ ବଳ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରଭାବିତ ହୁଅନ୍ତି । ଏହା ଫଳରେ ଉଚ୍ଚତା ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଚାପ ଓ ଘନତ୍ୱ କମ କମିଯିବ । n ପ୍ରତି ଘନ ଏକକରେ ଅଣୁମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ସୂଚାଏ । ଯଦି ଉଚ୍ଚତା zରେ p ଚାପକୁ ସୂଚାଇବ, $z+dz$ ଉଚ୍ଚତାରେ ଚାପ p ଠାରୁ କମ୍ ହେବ—ଏ କମ୍

ହେବାର ପରିମାଣ ଏକକ କ୍ଷେତ୍ରଫଳ ଓ dz ଉଚ୍ଚତା ବିଶିଷ୍ଟ ଘନ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ବାୟୁର ଓଜନ ସହ ସମାନ । ତେଣୁ

$$-dp = nmg\,dz \qquad (୪·୧୧)$$

ସମୀକରଣ (୪·୩) ଦ୍ୱାରା

$$pV_m = RT = N_A kT, \text{ ତେଣୁ}$$

$$p = \frac{N_A}{V_m} kT = nkT \qquad (୪-୧୨କ)$$

$$dP = kT\,dn \qquad (୪·୧୨ଖ)$$

ସମୀକରଣ (୪·୧୧)ରେ ଏହି ଉତ୍ତର ବସାଇଲେ ମିଳିବ,

$$-kTdn = nmg\,dz$$

ଏବଂ

$$= n = n_0 e^{-mgz/kT} \qquad (୪·୧୩)$$

ଏଠାରେ n_0 ହେଲା $z = 0$ ଠାରେ ଏକ ଘନ ଏକକ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା କଣିକା-ମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା $z = 0$ ଯେଉଁ ଉଚ୍ଚତାରେ ନିଆଯାଇଅଛି, ତାହା ମନଇଚ୍ଛା ସ୍ଥିର କରାଯାଇଅଛି, ଏହା ବାୟୁମଣ୍ଡଳର ପାଦଦେଶରେ ହେବା ଦରକାର ନାହିଁ । ସମୀକରଣ [୪ ୧୩] zର ବିଯୁକ୍ତ ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ସମତାପମାତ୍ରାରେ ଥିବା ବାୟୁମଣ୍ଡଳ ପାଇଁ ସମପରିମାଣରେ ପ୍ରଯୁଜ୍ୟ ।

ଯଦି ସମୀକରଣ (୪·୧୨କ)କୁ ସମୀକରଣ (୪·୧୩)ରୁ nକୁ ବିସ୍ଥାପନ କରିବାପାଇଁ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଏ, ଗୋଟିଏ ସମତାପ ମାତ୍ରାରେ ଥିବା ବାୟୁମଣ୍ଡଳରେ ଜଣେ ଦେଖିବ ଯେ, ଚାପ ଉଚ୍ଚତା ସହିତ ଚରଘାତାଙ୍କିରେ କମିବ ବଦଳିବ ।

$$p = p_0\, e^{-mgz/kT} \qquad (୪·୧୪)$$

ଯେହେତୁ mgz ଗୋଟିଏ ଅଣୁର $z=0$ ଅବସ୍ଥାନ ତୁଳନାରେ ସ୍ଥିତଜ ଶକ୍ତି P ପ୍ରତି ଅନୁପାତୀ, ପ୍ରତି ଘନଏକକ ପାଇଁ ଅଣୁମାନଙ୍କ ସଂଖ୍ୟାଲଗି ବୋଲ୍‌ଜମାନ ବଣ୍ଟନ ଉଚ୍ଚତାର ଫଳନ ଆକାରରେ (ସମୀକରଣ ୪.୧୩) $\frac{n}{n_0}=e^{-mgz/kT}=e^{-P/kT}$

(୪.୧୩)

ରୂପେ ପ୍ରକାଶିତ ହେବ ।

ତେଣୁ, z_1 ଉଚ୍ଚତାରେ ପ୍ରତି ଘନ ଏକକରେ ଥିବା n_1 ଅଣୁଙ୍କର z_2 ଉଚ୍ଚତାରେ ପ୍ରତି ଘନ ଏକକରେ ଥିବା n_2 ଅଣୁଙ୍କ ସହିତ ଅନୁପାତ ନିମ୍ନମତେ ପ୍ରକାଶିତ ହେବ,

$$\frac{n_1}{n_2}=\frac{e^{-mgz_1/kT}}{e^{-mgz_2/kT}}=\frac{e^{-P_1/kT}}{e^{-P_2/kT}}$$
$$=e^{-(P_1-P_2)/kT}=-\Delta^{P/kT} \qquad (୪.୧୫)$$

ଏଠାରେ $\Delta P=P_1-P_2$

4.6 କଳାସ୍ଥାନ ଓ ମାକ୍ସୁଏଲ-ବୋଲ୍‌ଜମ୍ୟାନ ବଣ୍ଟନ :

ପୂର୍ବ ଅନୁଚ୍ଛେଦରେ ଗୋଟିଏ ସମତାପବାୟରେ ଥିବା ବାୟୁମଣ୍ଡଳ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ସ୍ଥିତଜ ଶକ୍ତିକୁ ନେଇ ଆମେ ଗୋଟିଏ ମୂଲ୍ୟବାନ୍ ଫଳ ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ କରିଅଛୁଁ । ଆମେ ବର୍ତ୍ତମାନ ଗତିଜ ଓ ସ୍ଥିତଜ ଶକ୍ତିକୁ ନେଇ ଅଧିକ ବ୍ୟାପକ ସମ୍ବନ୍ଧ ପାଇବାକୁ ଚେଷ୍ଟା କରିବା । ଅନୁ: ୪.୪ରେ ଦିଆଥିବା ମାକ୍ସୁଏଲଙ୍କ ମତାନୁସାରେ ଗତିବେଗ ସ୍ଥାନକୁ ନେଇ ଆମର ଆଲୋଚନା କରିଥାଉଁ ତେବେ, କ୍ୱାଣ୍ଟମ୍ ଯାନ୍ତ୍ରିକର ବ୍ୟବହାର ପୂର୍ବରୁ ସଂବେଗ ସ୍ଥାନକୁ ପରିବର୍ତ୍ତନ କରିଦେବା ସୁବିଧାଜନକ ହେବ । ଅଣଆପେକ୍ଷିକ କ୍ଷେତ୍ରରେ v ସ୍ଥାନରେ p/m ଲେଖି ଏହି ପରିବର୍ତ୍ତନ କରାଯାଇପାରେ; ଏଠାରେ p ହେଲା ସଂବେଗ । (ଲକ୍ଷ୍ୟ କର ଯେ, ଏହି ଅଧ୍ୟାୟରେ ଏପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ p ଚାପ ପାଇଁ ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇଅଛି ।)

ପୁରାତନ ଚିନ୍ତା ଅନୁସାରେ ପରସ୍ପର ସହିତ କ୍ରିୟାଶୀଳ ନହୋଇଥିବା କଣିକାମାନଙ୍କର ଗୋଟିଏ ସଂସ୍ଥାର ପ୍ରତ୍ୟେକ କଣିକାର ଅବସ୍ଥାନ (x, y, z) ଓ ସଂବେଗ

(p_x, p_y, p_z) ଜଣାଥିଲେ, ସଂସ୍ଥିତି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ହୋଇଯାଇଥାଏ । ଯଦି ଆମେ ଷଡ଼ବିମିତିକ କଳା ସ୍ଥାନର ଧାରଣା ଗ୍ରହଣ କରିବା, ଆମେ ପ୍ରତ୍ୟେକ କଣିକାକୁ ଛଅଗୋଟି ସ୍ଥାନାଙ୍କ ସାହାଯ୍ୟରେ (x, y, z, p_x, p_y, p_z) ସ୍ଥିର କରିପାରିବା । ତେଣୁ, କଳାସ୍ଥାନ କହିଲେ ସ୍ଥାନାଙ୍କର ସ୍ଥାନ ଓ ସଂବେଗର ସ୍ଥାନ ଏକତ୍ର ମିଳିତ ହୋଇ ରହିଥାଏ ।

ଗୋଟିଏ ଆଦର୍ଶ ସମତାପ ମାତ୍ରାରେ ଥିବା ଗ୍ୟାସ ଉପରେ କୌଣସି ବାହ୍ୟ ବଳ କାର୍ଯ୍ୟ ନକଲେ, କୌଣସି ଗୋଟିଏ କଣିକାର କଳାବିନ୍ଦୁ କଳାସ୍ଥାନର $dp_x\ dp_y\ dp_z\ dx\ dy\ dz$ ଆୟତନ ମଧ୍ୟରେ ପଡ଼ିବାର ସମ୍ଭାବନା, ଏହାର ସଂବେଗ ସଂବେଗ ସ୍ଥାନର $dp_x\ dp_y\ dp_z$ ଘନ ମଧ୍ୟରେ ପଡ଼ିବାର ସମ୍ଭାବନା ଓ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ସ୍ଥାନର $dx\ dy\ dz$ ଘନ ମଧ୍ୟରେ ସେ କଣିକାଟି ରହିବାର ସମ୍ଭାବନାର ଗୁଣଫଳ । ପରୋକ୍ତଟି $(dx\ dy\ dz)/V$, ଏଠାରେ V ହେଲା ଗ୍ୟାସର ଘନଫଳ ଓ ପୂର୍ବୋକ୍ତଟି $\phi(p^2)\ dp_x\ dp_y\ dp_z$—ଏହା ସମୀକରଣ (୪'୭) ସହିତ ମିଳିଥାଏ । ତେଣୁ

$$P(x, y, z, p_x, p_y, p_z)\, dp_x\, dp_y\, dp_z\, dx\, dy\, dz = \frac{e^{-(p_x^2+p_y^2+p_z^2)/2mkT}}{(2m\pi kT)^{\frac{3}{2}}} \frac{dp_x\, dp_y\, dp_z\, dx\, dy\, dz}{V} \quad (୪'୧୨)$$

ତରଯାତାଙ୍କ ପଦଟି $e^{-K/kT}$ ର ଅନୁରୂପ, ଏଠାରେ $K = p^2/2m$ ହେଲା ଗତିଜ ଶକ୍ତି । ଯଦି ଆମେ କଳା ସ୍ଥାନରେ କୌଣସି ଦୁଇଟି ପ୍ରକୋଷ୍ଠ ନେଉ, ପ୍ରକୋଷ୍ଠ 1ରେ ପ୍ରତି ଘନ ଏକକ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ଅଣୁମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା n_1 ପ୍ରତି, ପ୍ରକୋଷ୍ଠ 2ରେ ପ୍ରତି ଘନ ଏକକ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ଅଣୁମାନଙ୍କର n_2ର ଅନୁପାତ ହେଲା,

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{P_1}{P_2} = \frac{e^{-K_1/kT}}{e^{-K_2/kT}} = e^{-(K_1-K_2)/kT} \quad (୪'୧୨)$$

ସମୀକରଣ (୪'୧.୫) ସହିତ ଏ ଫଳକୁ ତୁଳନା କରିବାକୁ ହେବ । ପ୍ରତ୍ୟେକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଅନୁପାତଟି ହେବ $e^{-\triangle K/kT}$, ଏଠାରେ $\triangle E$ ହେଲା ଶକ୍ତିରେ ଏକ ମୋଟାମୋଟି ବ୍ୟବଧାନ ।

ଗୋଟିଏ ସମତାପମାତ୍ରାରେ ଥିବା ବାୟୁମଣ୍ଡଳ ଗୋଟିଏ ମହାକର୍ଷଣ-କ୍ଷେତ୍ର ଦ୍ୱାରା ପ୍ରଭାବିତ ହେଉଥିଲେ, ପ୍ରକୃତ ସ୍ଥାନର ଗୋଟିଏ ଘନଖଣ୍ଡ $dx\,dy\,dz$ ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ଦତ୍ତ ଅଣୁ ପଡ଼ିବାର ସମ୍ଭାବନା ଆଉ $\frac{(dx\,dy\,dz)}{V}$ ହେବନାହିଁ, କାରଣ ସ୍ଥିତଜ ଶକ୍ତି ଅପେକ୍ଷା ଅଧିକ ସ୍ଥିତଜ ଶକ୍ତିଥିବା ସ୍ଥାନରେ କଣିକାଟି ମିଳିବାର ସମ୍ଭାବନା କମିଯିବ । ଏ ସମ୍ଭାବନା ହେବ $e^{-P/kT}(dx\,dy\,dz)/cV$, ଏଠାରେ c ଏପରି ଗୋଟିଏ ଧ୍ରୁବ ଯେପରି କି $\iiint\limits_{\text{ସ୍ଥାନ}} e^{-P/kT}\,dx\,dy\,dz = CV$ । ଏପରି ଅବସ୍ଥାରେ କଳାସ୍ଥାନର $dp_x\,dp_y\,dp_z$, $dx\,dy\,dz$ ଆୟତନ ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ଅଣୁ ରହିବାର ସମ୍ଭାବନା ହେଲା,

$$P(x, y, z, p_x, p_y, p_z)\,dp_x\,dp_y\,dp_z\,dx\,dy\,dz$$

$$= \frac{e^{-K/kT}\,dp_x\,dp_y\,dp_z}{(2\pi mkT)^{\frac{3}{2}}}\,\frac{e^{-P/kT}\,dx\,dy\,dz}{CV}$$

$$= \frac{e^{-(K+P)/kT}\,dp_x\,dp_y\,dp_z\,dx\,dy\,dz}{(2\pi mkT)^{\frac{3}{2}}\,CV} \qquad (୪'୧୮)$$

ଆଦର୍ଶ ଗ୍ୟାସ ଅଣୁର ମୋଟ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ E ହେଲା $K+P$ । ଯଦି ସମୀକରଣ (୪'୧୮)କୁ ମୋଟ ଅଣୁ ସଂଖ୍ୟା N ଦ୍ୱାରା ଗୁଣାଯାଏ, ମିଳୁଥିବା ଫଳ ହେବ କଳାସ୍ଥାନରେ $dp_x\,dp_y\,dp_z$, $dx\,dy\,dz$ କ୍ଷୁଦ୍ର ଘନଖଣ୍ଡରେ ଅଣୁମାନଙ୍କର ସାମ୍ଭବ୍ୟ ସଂଖ୍ୟା dN ଅର୍ଥାତ୍

$$dN = N\,\frac{e^{-E/kT}}{(2\pi mkT)^{\frac{3}{2}}\,CV}\,dp_x\,dp_y\,dp_z\,dx\,dy\,dz \qquad (୪'୧୯)$$

କଳାସ୍ଥାନରେ ଗୋଟିଏ କ୍ଷୁଦ୍ର ଘନଖଣ୍ଡ $g_1 = \triangle p_x\,\triangle p_y\,\triangle p_z\,\triangle x\,\triangle y\,\triangle z$ରେ ଆଶା କରାଯାଉଥିବା କଣିକାମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା n_1ର ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ଘନଖଣ୍ଡ g_2ରେ ଆଶା କରାଯାଉଥିବା n_2 ସହିତ ଅନୁପାତ ହେବ,

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{g_1 \, e^{E_1/kT}}{g_2 \, e^{-E_2/kT}} = \frac{g_1}{g_2} e^{-(E_1 - E_2)/kT}$$

$$= \frac{g_1}{g_2} e^{-\Delta E/kT} \qquad (୪.୨୦)$$

ଅଧ୍ୟାୟ ୨୦ରେ ଆମେ ମୌଳିକ ପରିସଂଖ୍ୟାନ ଯାନ୍ତ୍ରିକରୁ ମାକ୍ସୱେଲ-ବୋଲ୍ଜମାନ ବଣ୍ଟନ ଫଳନକୁ ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ କରିବା ଓ ଦେଖିବା ଯେ, ସମୀକରଣ (୪'୨୦) ଏହିପରି ଦୁଇଟି ଫଳନର ଅନୁପାତ । ଉପରେ ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ ହୋଇଥିବା ମାକ୍ସୱେଲ-ବୋଲ୍ଜମାନ ସମ୍ବନ୍ଧର ଅନେକ ବ୍ୟବହାର ଥିଲେ ମଧ୍ୟ, ଆମେ ଦେଖିବା ଯେ, ସେଗୁଡ଼ିକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପରି ମୌଳିକ କଣିକାମାନଙ୍କ ପ୍ରତି ପ୍ରଯୁଜ୍ୟ ନୁହେଁ ।

4.7 ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ଆକାର :

ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁର ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ସୀମା ନ ଥିଲେ ମଧ୍ୟ ଆମେ ମୋଟାମୋଟି ଭାବରେ ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ସହଜରେ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରି ପାରିବା । ଅଧିକାଂଶ ତରଳ ପଦାର୍ଥ ଓ କଠିନ ପଦାର୍ଥ ସହଜରେ ନମନୀୟ ନ ହୋଇଥିବାରୁ, ସେଗୁଡ଼ିକ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ କଠିନ ଗୋଳକ ପରସ୍ପର ସହିତ ଲାଗି ଲାଗି ରହି ଗଠିତ ହୋଇଛନ୍ତି ବୋଲି ଅନୁମାନ କରିବା ଅଯୌକ୍ତିକ ହେବନାହିଁ । ଗୋଟିଏ ଉଦାହରଣ ଭାବରେ ନେଲେ, ତରଳ ନାଇଟ୍ରୋଜେନର କଥା ବିଚାର କର – ଏହାର ଘନତ୍ୱ ρ ମୋଟାମୋଟି ଭାବରେ ଜଳର ଘନତ୍ୱ, 1000 kg/m^3 ସହିତ ସମାନ । ନାଇଟ୍ରୋଜେନର ପାରମାଣିକ ଓଜନ A ହେଲା 14 । ତେଣୁ 14 kgରେ $N_A = 6{\cdot}02 \times 10^{26}$ ପରମାଣୁ ରହିଥାଏ; ଫଳରେ ଘନମିଟର ପ୍ରତି ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା $N_A\rho/A = 4{\cdot}3 \times {}^{28}$ ଏବଂ ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ଗୋଟିକ ପ୍ରତି ଘନଫଳ ହେବ 23×10^{-30} m^3 । ଏହି ଘନଫଳ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ କ୍ଷୁଦ୍ର ସମଘନର ବାହୁ ହେବ $\sqrt[3]{23 \times 10^{-30}}\text{m} = 2{\cdot}8$ A° । ନାଇଟ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ଯେତେପ୍ରକାରରେ ଏକାଠି ହୋଇ ରହି ପାରିଥାନ୍ତି, ସେସବୁ ବିଚାର କଲେ, ଆମେ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧକୁ କେତେକ ପରିମାଣରେ ବଦଳାଇ ପାରିବା, କିନ୍ତୁ ପରିମାଣରେ ଗୋଟିଏ କୋଟି ଦ୍ୱାରା ବଦଳାଇ ପାରିବାନାହିଁ ।

ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ପ୍ରକାରର ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ଲାଗି ଏହିପରି ହିସାବରୁ ସିଦ୍ଧାନ୍ତ ମିଳିଲା ଯେ, ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ବ୍ୟାସ ମୋଟାମୋଟି 1ରୁ 4A° ମଧ୍ୟରେ ରହିଥାଏ । ଏ ପରିସର ଅତ୍ୟନ୍ତ କମ୍, କାରଣ ବସ୍ତୁତଃରେ ସେମାନଙ୍କର ପାରମାଣବିକ ପରିସର ହେଲା 1ରୁ 250 ଓ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟାରେ ପରିସର ହେଲା 1ରୁ 100 । ଆଉ ମଧ୍ୟ ଓଜନିଆ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ବଡ଼ ବଡ଼ ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ପଡ଼ୁନାହାନ୍ତି । ଲିଥିୟମର ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁ ପ୍ଲାଟିନମ୍‌ର ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁଠାରୁ ଅଧିକ ଘନ ନେଉଅଛୁ । ସାଧାରଣ ଭାବରେ କହିଲେ, ଆଲ୍‌କାଲି ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ସର୍ବାଧିକ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ହେଉଅଛୁ, କିନ୍ତୁ ଡାଏମଣ୍ଡ ଲାଟିସ୍‌ରେ କାର୍ବନର ପ୍ରତି ପରମାଣୁ ପ୍ରତି ଅସାଧାରଣ ଭାବେ କମ୍ ଆୟତନ ହେଉଅଛୁ ।

ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ବ୍ୟାସଗୁଡ଼ିକ $10^{-10}m$ କୋଟୀର ବୋଲି ଜଷ୍ଟିଭିମୂଳକ ସିଦ୍ଧାନ୍ତ ଗ୍ୟାସରେ ସଂଘର୍ଷ ସମ୍ଭାବନା ଓ ଗଡ଼ମୁକ୍ତ ପଥର ମାପରୁ ମିଳିଥାଏ । r ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ କଣିକା v ବେଗରେ R ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ବିଶିଷ୍ଟ ଅଣୁମାନଙ୍କୁ ନେଇ ଗଠିତ ଗୋଟିଏ ଆଦର୍ଶ ଗ୍ୟାସ ମଧ୍ୟରେ ଏକ ସରଳ ରେଖାରେ ଗତି କଲେ । 1 ଃରେ $r+R$ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ଓ v ଲମ୍ବ ବିଶିଷ୍ଟ ସିଲିଣ୍ଡର ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଅଣୁ ସହିତ ବାଧାପ୍ରାପ୍ତ ହେବ । ଯଦି n ପ୍ରତି ଏକକଘନ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ଅଣୁମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ହୁଏ, ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ ସଂଘର୍ଷ ସଂଖ୍ୟା ହେବ $\pi(r+R)^2 vn$ ଏବଂ ଗଡ଼ ମୁକ୍ତପଥ (ସଂଘର୍ଷମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଦୂରତା) λ ହେବ (ଏକାନ୍ତ ସ୍ଥୂଳ ହିସାବରେ)

$$\lambda=\frac{1}{\pi(r+R)^2 n} \qquad (୪.୨୧)$$

ଯେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ ଗୁଲ୍‌ଦ୍ୱାରୁ ବା ଅନ୍ୟ କୌଣସି ଉତ୍ସରୁ ଗୋଟିଏ କଣିକା ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ଗ୍ୟାସର ଗୋଟିଏ ସ୍ୱଳ୍ପ ବୋଧ Δx ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଗତି କରେ, ସେହି କଣିକା ଗୁଡ଼ିକ ଗ୍ୟାସ ଅଣୁମାନଙ୍କ ସହ ବାଧାପ୍ରାପ୍ତ ହୁଅନ୍ତି, ସେଗୁଡ଼ିକ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛରୁ ବାହାରକୁ ବିଚ୍ଛୁରିତ ହୋଇଯାଆନ୍ତି । ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛର ସ୍ରୋତରେ ହ୍ରାସ $-\Delta I$ ହେଲା ଅପତିତ ସ୍ରୋତ I ଓ ଅଣୁମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଗଠିତ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ କ୍ଷେତ୍ରଫଳ $\pi(r+R)^2 n\Delta x$ର ଗୁଣଫଳକୁ ଅନୁପାତୀ । ତେଣୁ

$$-\Delta I=I\,\pi\,(r+R)^2\,n\Delta x \qquad (୪.୨୨)$$

ଏଥିରୁ ମିଳିଲା

$$I = I_0 \, e^{-n\pi (r+R)^2 x} = I_0 \, e^{-x/\lambda} \qquad (୪\cdot୨୩)$$

ସ୍ୱଳ୍ପ ଚାପରେ ଥିବା ଗ୍ୟାସରେ ଏହିପରି ରଶ୍ମି ଗୁଚ୍ଛର ହ୍ରାସରୁ ଗଡ଼ମୁକ୍ତ ପଥ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରିବା ସମ୍ଭବ ହୋଇଥାଏ । ବିଚ୍ଛୁରକ ଅଣୁ ଓ ରଶ୍ମିର କଣିକାମାନଙ୍କୁ ଉପଯୁକ୍ତ ଭାବରେ ବାଛି λ ଗୁଡ଼ିକ ନିରୂପଣ କରିବାଦ୍ୱାରା ଅଣୁମାନଙ୍କର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧଗୁଡ଼ିକର ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ମୂଲ୍ୟ ନିର୍ଦ୍ଧାରଣ କରାଯାଇ ପାରିବ ।

ଗତିଜ ତତ୍ତ୍ୱ ପ୍ରକାଶ କରେ ଯେ, ଗ୍ୟାସର ଉପସ୍ଥିତି ଅଣୁମାନଙ୍କର ଗଡ଼ମୁକ୍ତପଥ ସହିତ ଅନୁପାତୀ । ଉପସ୍ଥିତି ମୂଲ୍ୟଗୁଡ଼ିକରୁ ପାରମାଣିକ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ 10^{-10} m କୋଟୀର ବୋଲି ମଧ୍ୟ ଜଣାଯାଏ ।

ଗଡ଼ମୁକ୍ତ ପଥ ଏକକ ଘନ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ଅଣୁମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ଉପରେ ନିର୍ଭର କରୁଥିବାରୁ ତାପମାତ୍ରା ଧ୍ରୁବ ରହିଥିବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ତାହା ଚାପ ପ୍ରତି ଅନୁପାତୀ ହେବ । କୋଠରୀର ତାପମାତ୍ରା ଓ ଚାପରେ ଅକ୍ସିଜେନ ଓ ନାଇଟ୍ରୋଜେନ ଅଣୁମାନଙ୍କର ସାଧାରଣ ଗଡ଼ମୁକ୍ତପଥ ହେଲା ପ୍ରାୟ 10^{-7} m. rms ବେଗ ମୋଟାମୋଟି 500 m/s ହୋଇଥିବାରୁ ପ୍ରତି ଅଣୁ ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ 10^9 କୋଟୀର ଆଘାତ ପାଇଥାଏ ।

ପରିଶିଷ୍ଟ 4କ

ଗ୍ୟାସର ଗତିଜ ତତ୍ତ୍ୱରେ ମିଳୁଥିବା ସମାକଳଗୁଡ଼ିକ ସମୀକରଣ (୪'୬)ରୁ ଆମେ ଅନୁମାନ କରୁଛୁ ଯେ, x_x ଓ $v_x + dv_x$ ପରିସର ମଧ୍ୟରେ v_x ରହିଥିବା ଅଣୁମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ହେଲା $Nc\, e^{-A^2 v_x^2}\, dv_x$ । ଯଦି ଆମେ $v_x = -\infty$ ଠାରୁ $v_x = \infty$ ମଧ୍ୟରେ ସମାକଳନ କରିବା, ଆମେ ମୋଟ N ସଂଖ୍ୟକ ଅଣୁ ପାଇବା ଦରକାର । ତେଣୁ

$$N = \int_{-\infty}^{\infty} N c\, e^{-A^2 v_x^2}\, dv_x = Nc \frac{\sqrt{\pi}}{A} \qquad (4A\cdot1)$$

ଏଥିରୁ $C = A/\sqrt{\pi}$ ହେଉଅଛି । ଉପରର ସମାକଳଟିର ମୂଲ୍ୟାୟନ କରିବା ପାଇଁ ଆମେ ଦେଖୁଥାଉଁ ଯେ, $\int e^{-x^2}\,dx$ ଅନନ୍ତ ସମାକଳଟି ମୌଳିକ ଫଳନ ସାହାଯ୍ୟରେ ଲେଖାଯାଇ ପାରିବନାହିଁ । ତେବେ, ଗୋଟିଏ ସରଳ କୌଶଳ ପ୍ରୟୋଗ କରି ଏହି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ସମାକଳ ମୂଲ୍ୟାୟନ କରିଯାଇପାରେ ।

$$I = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-x^2}\,dx = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-y^2}\,dy$$

ହେଉ । ତେବେ

$$I^2 = \int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} e^{-(x^2+y^2)}\,dx\,dy$$

ଯଦି ଆମେ xy ସମତଳରେ ଥିବା ଏହି ସମାକଳଟିକୁ ସମତଳ ପୋଲାର୍ ସ୍ଥାନାଙ୍କ r, θ ରେ ରୂପାନ୍ତରଣ କରିବା, ତେବେ ପାଇବା

$$I^2 = \int_0^{\infty}\int_0^{2\pi} d\theta\, e^{-r^2}\, r\,dr$$

$$= 2\pi \int_0^{\infty} r\, e^{-r^2}\,dr$$

$$= 2\pi \left[\frac{e^{-r^2}}{2}\right]_0^{\infty} = \pi$$

ଦେଖି,

$$I = \int_{-\infty}^{\infty} e^{-x^2} \, dx = \sqrt{\pi} \text{ ଏବଂ}$$

$$\int_0^{\infty} e^{-A^2x^2} \, dx = \frac{\sqrt{\pi}}{2A} \qquad (୪କ ୨)$$

$f(v_x) f(v_y) f(v_z) = \phi(v^2)$ ହୋଇଥିବାରୁ ଆମେ ପାଇବା,

$$C^3 e^{-A^2v_x^2} e^{-A^2v_y^2} e^{-A^2v_z^2} \quad De^{-A^2v^2}$$

ଦେଖ

$$D = C^3 = A^3\pi^{-\frac{3}{2}}$$

A ର ମୂଲ୍ୟ ନିରୂପଣ କରିବାପାଇଁ ଆମେ ମୋଟ ସ୍ଥାନାନ୍ତରଣ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରିବା ଓ ଏହାକୁ $\frac{3}{2}$ NkT ସହିତ ସମାନ କରିବା, କାରଣ ଆମେ ଜାଣୁ ଯେ ପ୍ରତି ଅଣୁର ହାରାହାରି ଗତିଜ ଶକ୍ତି $\frac{3}{2}kT$ । ଆମେ ଉପରେ ପାଇଥାଉଁ ଯେ, v ଓ $v+dv$ ମଧ୍ୟରେ ବେଗ ଥିବା ଅଣୁମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା $NA^3\pi^{-\frac{3}{2}}4\pi v^2 e^{-A^2v^2} dv$ । ଯଦି ଆମେ ଏହାକୁ ସ୍ଥାନାନ୍ତରଣ ଶକ୍ତି $\frac{1}{2}mv^2$ରେ ଗୁଣନ କରୁ ଓ ସମସ୍ତ ସମ୍ଭବ୍ୟ ବେଗ ଉପରେ ଏହାକୁ ସମାକଳ କରୁ, ଆମେ ପାଇବା

$$\int_0^{\infty} N\left(\tfrac{1}{2}mv^2\right) A^3\pi^{-\frac{3}{2}} \; 4\pi v^2 e^{-A^2v^2} dv$$

$$= 2\pi NmA^3\pi^{-\frac{3}{2}} \frac{\frac{3}{8}\sqrt{\pi}}{A^5} = \frac{3}{2} NkT \qquad (୪କ\cdot ୩)$$

ଏଥିରୁ $A = \sqrt{m/2kT}$.

ଗତିଜ ତତ୍ତ୍ୱରେ $I_n = \int_0^{\infty} v_n e^{-A^2 v^2} dv$ ଆକାରର ସମାକଳ ବହୁସମୟରେ

ଦେଖା ଦେଇଥାଏ । ଉପରର ସମୀକରଣ (୪କ'୬)ରୁ ମିଳେ

$$I_0 = \int_0^{\infty} e^{-A^2 v^2} dv = \frac{\frac{1}{2}\sqrt{\pi}}{A}$$

ଏହା ଗାଉସୀୟ ସାମ୍ଭବ୍ୟ ସମାକଳ । ସେହିପରି

$$I_1 = \int_0^{\infty} v e^{-A^2 v^2} dv = -\frac{1}{2A^2}\left[e^{-A^2 v^2}\right]_0^{\infty}$$

$$= \frac{1}{2A^2}$$

ଆହୁ ମଧ୍ୟ

$$I_2 = -\frac{\partial I_0}{\partial (A^2)} = \frac{\frac{1}{4}\sqrt{\pi}}{A^3}$$

$$I_3 = -\frac{\partial I_1}{\partial (A^2)} = \frac{1}{2}A^{-4}$$

$$I_4 = \frac{\partial^2 I_0}{\partial (A^2)^2} = \frac{\frac{3}{8}\sqrt{\pi}}{A^5}$$

$$I_5 = \frac{\partial^2 I_1}{\partial (A^2)^2} = \frac{1}{A^6}$$

ଇତ୍ୟାଦ ।

ଯଦିଓ $\int e^{-x^2} dx$ ମୌଳିକ ଫଳନମାନଙ୍କ ସାହାଯ୍ୟରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇ

ପାରେନାହିଁ, ଅନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ସମାକଳ $\int_0^{w} e^{-x^2} dx$ ସାମ୍ଭବ୍ୟ ତତ୍ତ୍ୱରେ ବାରମ୍ବାର ଦେଖା

ଯାଇଥାଏ । ଆମେ ଉପରେ ଦେଖିଥାଉଁ ଯେ, $\int_0^\infty e^{-x^2}\,dx = \sqrt{\pi}/2$ । ତ୍ରୁଟି ·

ଫଳନ ବା ସାମ୍ଭବ୍ୟ ସମାକଳର

$$\operatorname{erf} w = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^w e^{-x^2}\, dx$$

ଭାବରେ ସଂଜ୍ଞା ଦେବା ପ୍ରଚଳିତ ପ୍ରଥା । ଏହି ସମାକଳର ମୂଲ୍ୟ w ର ବିଭିନ୍ନ ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ ସଂଖ୍ୟାରେ ସ୍ଥିର କରାଯାଇଅଛି ଓ ବହୁସ୍ଥାନରେ ଟେବୁଲ ଆକାରରେ ଦିଆଯାଇଅଛି ।

ପ୍ରଶ୍ନାବଳୀ

୧ । ଦେଖାଅ ଯେ ଗୋଟିଏ ଗ୍ୟାସର ଅଣୁର ସର୍ବାଧିକ ସାମ୍ଭବ୍ୟ ଗତିବେଗ ହେଲା $(2kT/m)^{\frac{1}{2}}$ । ଯଦି v_m, $\bar{v}$ ଓ v_{rms} ଯଥାକ୍ରମେ ସର୍ବାଧିକ ସାମ୍ଭବ୍ୟ, ହାରାହାରି ଓ ହାରାହାରି ବର୍ଗର ବର୍ଗମୂଳ ଗତିବେଗ ବୁଝାଏ, ଦେଖାଅ ଯେ, ମାକ୍ସୱେଲୀୟ ବଣ୍ଟନ ପାଇଁ $v_{rms} : \bar{v} : v_m = \sqrt{1 \cdot 5} : \sqrt{4/\pi} : 1$ ·

୨ । $27°C$ ରେ ବାୟୁର N_2ର ଅଣୁମାନଙ୍କ ପାଇଁ *rms* ବେଗ, ହାରାହାରି ବେଗ ଓ ସର୍ବାଧିକ ସାମ୍ଭବ୍ୟ ବେଗ ବାହାର କର ।

ଉତ୍ତର : $v_{rms} = 517\ m/S$.

୩ । ସମୀକରଣ (୪·୮)ରୁ ସମୀକରଣ (୪·୧୦)କୁ ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ କର ।

୪ । ସମୀକରଣ (୪·୯) ରେ $\bar{v}$ ର ମୂଲ୍ୟାୟନ କରିବାପାଇଁ ଗାଣିତିକ ସୋପାନଗୁଡ଼ିକ ଦେଖାଅ ।

୫ । ସୋଡ଼ିୟମ ($3^2P_{\frac{1}{2}}$) ର ପ୍ରଥମ ଉତ୍ତେଜିତ ଅବସ୍ଥାର ପରିସଂଖ୍ୟାନ ଓଜନ ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥା ($3^2S_{\frac{1}{2}}$) ର ତତ୍ତୁଲ୍ୟ ସହ ସମାନ ଏବଂ ହଳଦିଆ ରେଖା ($\lambda = 5 \cdot 896 A°$) ପାଇଁ ଶକ୍ତି ବ୍ୟବଧାନ $2 \cdot 1\ eV$ । ଯଦି ସୂର୍ଯ୍ୟର ପୃଷ୍ଠତଳର ତାପମାତ୍ରା $6000°k$ ହୁଏ, ଏହି ଉତ୍ତେଜିତ ଅବସ୍ଥାରେ Na ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟାର· ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ଥିବା ସଂଖ୍ୟା ପ୍ରତି ଅନୁପାତ ସ୍ଥିର କର ।

ଉତ୍ତର : 0·018 ।

୬ । ଇଣ୍ଟରନାସନାଲ ସିଭିଲ ଆଭିଏସନ୍ ଅନୁଷ୍ଠାନର ଷ୍ଟାଣ୍ଡାର୍ଡ ବାୟୁମଣ୍ଡଳ ଅବସ୍ଥା ମୋଟାମୋଟି ଭାବରେ ଯୁକ୍ତରାଷ୍ଟ୍ରର ହାରାହାରି ବାର୍ଷିକ ଚାପ, ତାପମାତ୍ରା ଓ $40°N$ ରେ ଘନତ୍ୱ ସହିତ ମିଳିଯାଏ । ହାରାହାରି ସମୁଦ୍ର ପତନଠାରେ ଏହାର

ମୂଲ୍ୟ $P_0 = 1013$ millibars (mb) ଓ ଘନତ୍ୱ $1{\cdot}225\ kg/m^3$ । 10km ଠାରେ IcAo ମୂଲ୍ୟସବୁ ହେଲା $P = 2{\cdot}64\ mb,\ \rho = 0{\cdot}413\ kg/m^3$ । ସମତାପ ମାତ୍ରାରେ ଥିବା ବାୟୁମଣ୍ଡଳ ପାଇଁ Pkm ମୂଲ୍ୟ ସବୁ ବାହାର କର ।

୭ । ଦେଖାଅ ଯେ, ଗୋଟିଏ ଗ୍ୟାସ ଅଣୁର ସର୍ବାଧିକ ସାମ୍ଭବ୍ୟ ଗତିଜ ଶକ୍ତି ହେଲା $kT/2$ ।

୮ । ଗୋଟିଏ ଧାରକରେ O_2 ଅଣୁମାନଙ୍କର ହାରାହାରି ବେଗ $450m/S$ ହେଲେ ସେଗୁଡ଼ିକର କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ $1{\cdot}7\text{Å}$ ଓ ପ୍ରତି ଘନ ଏକକରେ ଥିବା ଅଣୁମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା 3×10^{25} । ସଂଘର୍ଷମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ହାରାହାରି ସମୟ ଓ ଗଡ଼ମୁକ୍ତପଥ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

ଉତ୍ତର : $2 \times 10^{-10}S;\ 9 \times 10^{-8}m.$

୯ । ଗୋଟିଏ ଗ୍ୟାସରେ ଶବ୍ଦର ବେଗ $V = \sqrt{\gamma P/\rho}$ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ, ଏଠାରେ γ ହେଲା ଧ୍ରୁବଚାପର ବିଶିଷ୍ଟ ତାପର ଧ୍ରୁବ ଘନଫଳରେ ବିଶିଷ୍ଟ ତାପର ଅନୁପାତ । V ପ୍ରତି, ଗୋଟିଏ ଗ୍ୟାସ ଅଣୁର ହାରାହାରି ବେଗର ଅନୁପାତ ବାହାର କର । ଏହି ଅନୁପାତର ଏକପାରମାଣିକ ($\gamma = \frac{5}{3}$) ଓ ଦ୍ୱିପାରମାଣିକ ଗ୍ୟାସ ($\gamma = \frac{7}{5}$) ପାଇଁ ସଂଖ୍ୟାରେ ମୂଲ୍ୟ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

ଉତ୍ତର : 0 · 804; 0·741 ।

୧୦ । ଯଦି v ଗୋଟିର ଅଣୁର ବେଗ ବୁଝାଏ, ଗୋଟିଏ ତାପୀୟ ସାମାବସ୍ଥାରେ ଥିବା ଆଦର୍ଶ ଗ୍ୟାସ ପାଇଁ $\frac{1}{v}$ ର ହାରାହାରି ମୂଲ୍ୟ ହିସାବ କର । ଏହି ମୂଲ୍ୟ $\bar{v}$ ର ମୂଲ୍ୟ ସହିତ କିପରି ଭାବରେ ତୁଳନୀୟ ?

୧୧ । T ତାପମାତ୍ରାରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ ଗ୍ୟାସର ଅଣୁମାନଙ୍କର ବସ୍ତୁତ୍ୱ m ହେଲେ v^3ର ହାରାହାରି ମୂଲ୍ୟ ସ୍ଥିର କର ।

୧୨ । $20°c$ ତାପମାତ୍ରା ଓ 1 ବାୟୁମଣ୍ଡଳୀୟ ଚାପରେ ଅକ୍ସିଜେନର ଭିସ୍କୋସିଟି η ହେଲା $2{\cdot}3 \times 10^{-5}\ N\text{-}sm^2$ । ୧୮୬୦ ମସିହାରେ ମାକ୍ସୱେଲ $\eta = \frac{1}{3}\rho\ \bar{v}\lambda$ ସମ୍ବନ୍ଧଟି ଗୋଟିଏ ଗ୍ୟାସ ପାଇଁ ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ କଲେ, ଏଠାରେ ρ ହେଲା ଘନତ୍ୱ, $\bar{v}$

ହେଲା ହାରାହାରି ଗତିବେଗ ଓ λ ହେଲା ଗତିମୁକ୍ତ ପଥ । ଗୋଟିଏ ଅକ୍ସିଜେନ ଅଣୁର ଗତିମୁକ୍ତ λ ଓ "ବ୍ୟାସ" ହିସାବ କର ।

ଉତ୍ତର : $1\times10^{-7}m$; $3{\cdot}3\times10^{-10}m$;

୧୩ । $300°K$ରେ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ, ଅକ୍ସିଜେନ ଓ କାର୍ବନ ଡାଇଅକ୍ସାଇଡ଼ର ଅଣୁମାନଙ୍କର ଗତିବେଗର rms ମୂଲ୍ୟସବୁ ହିସାବ କର ।

୧୪ । (କ) 100°C ଓ 1 ବାୟୁମଣ୍ଡଳୀୟ ଚାପରେ 1kg ଜଳୀୟ ବାଷ୍ପ $1{\cdot}67m^3$ ଘନ ଏକକ ସ୍ଥାନ ଅଧିକାର କରିଥାଏ । ହାରାହାରି ଗୋଟିଏ HoH ଅଣୁ ପାଇଁ ମିଳୁଥିବା ଘନ ଏକକ ସ୍ଥାନ ହିସାବ କର ।

(ଖ) ବରଫ ଓ ଜଳର ସାନ୍ଦ୍ରତା ଯଥାକ୍ରମେ 900 ଓ 1000 kg/m^3 ହୋଇ ହେଉଥିଲେ, ପ୍ରତି HoH ଏକକ ପାଇଁ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଅବସ୍ଥାରେ ମିଳୁଥିବା ହାରାହାରି ଆୟତନ ହିସାବ କର ।

୧୫ । ଅଣୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ଯେଉଁ ଅଂଶର ଗତିବେଗର v ସଂଯୋଜକ 0 ଓ $v_m=\sqrt{2kT/m}$ ମଧ୍ୟରେ ରହେ, ସେ ଭଗ୍ନାଂଶଟି ସ୍ଥିର କର ।

ଉତ୍ତର : 0·422 ।

୧୬ । ଗୋଟିଏ ଗ୍ୟାସର ଅଣୁମାନଙ୍କରୁ କେଉଁ ଭଗ୍ନାଂଶର ଗତିବେଗର x ସଂଯୋଜକ ହାରାହାରି ବେଗ $\bar{v}$ ଠାରୁ ଅଧିକ ? rms ଗତିବେଗଠାରୁ ଅଧିକ ? ସର୍ବାଧିକ ସାମ୍ଭାବ୍ୟ ବେଗ v_mଠାରୁ ଅଧିକ ?

୧୭ । (କ) ଦେଖାଅ ଯେ, ଅଣୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ଯେଉଁ ଭଗ୍ନାଂଶର ବେଗ • ଓ v' ମଧ୍ୟରେ

ତାହା $erf\,(Av') - \dfrac{2Av'\,e^{-A^2v'^2}}{\sqrt{\pi}}$

ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହେବ; ଏଠାରେ $A=\sqrt{m/2kT}$

(ଖ) ଏହି ଫଳ ବ୍ୟବହାର କରି ଯେଉଁ ଭଗ୍ନାଂଶ ଅଣୁଙ୍କର ଗତିଜ ଶକ୍ତି $K>10kT$, ତାହା ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

ଉତ୍ତର : $1{\cdot}8\times10^{-4}$.

୧୮ । ଉପର ପ୍ରଶ୍ନଟିରେ ଉତ୍ତରକୁ ବ୍ୟବହାର କରି ଗୋଟିଏ ଗ୍ୟାସର କେଉଁ ଭଗ୍ନାଂଶ ଅଣୁର ବେଗ (କ) ହାରାହାରି ବେଗ $\bar{v}$ ଠାରୁ କମ୍; (ଖ) *rms* ବେଗଠାରୁ (ଗ) 2 $\bar{v}$ ଠାରୁ ଅଧିକ, ତାହା ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

ଉତ୍ତର : (କ) 0·53; (ଖ) 0·60.

ପଞ୍ଚମ ଅଧ୍ୟାୟ

କ୍ୱାଣ୍ଟମ୍ ତତ୍ତ୍ୱ ଜନ୍ମ

ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱ ଓ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ତତ୍ତ୍ୱ ପୁରାତନ ଭୌତିକୀର ଚିନ୍ତାଧାରାରେ ଦୁଇଟି ପ୍ରଧାନ ପରିବର୍ତ୍ତନ ଆଣି ଦେଇଛି । ଏ ଦୁଇଟି ଫଳରେ ଭୌତିକୀ ଆଧୁନିକ ଯୁଗରେ ପ୍ରବେଶ କରିଛି । କ୍ୱାଣ୍ଟମ ତତ୍ତ୍ୱ ୧୯୦୦ ମସିହାରେ ପ୍ରଥମେ ପ୍ଲାଙ୍କଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରସ୍ତାବିତ ହୋଇଥିଲା । ଗୋଟିଏ କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର ଶକ୍ତିର ବଣ୍ଟନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ଫଳାଫଳକୁ ବୁଝାଇବାରେ ପୁରାତନ ଭୌତିକୀର ଅପାରଗତାରୁ ଏହାର ଜନ୍ମ । ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକ ବିକିରଣ ଆବର୍ତ୍ତୀ (harmonic) ଦୋଳକମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ବିକିରିତ ହୋଇଥାଏ ବୋଲି ଅନୁମାନ କରିବା ଦ୍ୱାରା ଓ ଏହି ଆବର୍ତ୍ତୀ ଦୋଳକମାନଙ୍କର ଶକ୍ତିରେ କେବଳ ବିଚ୍ଛିନ୍ନ ଭାବରେ $h\nu$ ପରିମାଣରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ସମ୍ଭବ ବୋଲି ଅନୁମାନ କରି ପ୍ଲାଙ୍କ ତତ୍ତ୍ୱ ଓ ପରୀକ୍ଷା ଲବ୍ଧ ଫଳାଫଳ ମଧ୍ୟରେ ସମନ୍ୱୟ ଆଣି ପାରିଥିଲେ । ଏହାପରେ 25 ବର୍ଷ ମଧ୍ୟରେ ଭୌତିକୀର ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ବହୁ ବିଭାଗରୁ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅନୁମାନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ସିଦ୍ଧାନ୍ତମୂଳକ ପ୍ରମାଣ ସବୁ ମିଳିଯାଇଥିଲା ।

5.1 ଗୋଟିଏ ଉତ୍ତପ୍ତ ବସ୍ତୁ ଯେଉଁ ଶକ୍ତି ବିକିରଣ କରିଥାଏ, ତାର ଗୁଣ ଓ ପରିମାଣ ତାପମାତ୍ରା ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିଥାଏ । ତେଣୁ, ଗୋଟିଏ ଜ୍ୱଳନ୍ତ ଫିଲାମେଣ୍ଟ ବା ତନ୍ତୁ ଯେଉଁ ହାରରେ ବିକିରଣ କରେ, ତାହା ତାପମାତ୍ରାର ବୃଦ୍ଧି ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଅତି ବେଗରେ ବଢ଼ିଯାଏ ଏବଂ ବିକିରିତ ଆଲୋକ ଅଧିକରୁ ଅଧିକ ଶ୍ୱେତ ହୋଇଉଠେ । ଯଦି ଏହି ଆଲୋକକୁ ଗୋଟିଏ ପ୍ରିଜମ୍ ସାହାଯ୍ୟରେ ବିକ୍ଷେପ କରାଯାଏ, ଗୋଟିଏ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ତିଆରି ହୁଏ । ଏହିପରି ବିକିରଣ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ପରିମାଣରେ କେବଳ ଅଧିକ ସାନ୍ଦ୍ର ବା ମୋଟା ହୋଇ ଅସ୍ୱଚ୍ଛ ହୋଇଥିବା ବସ୍ତୁରୁ ନିଷ୍କାସିତ ହୋଇଥାଏ ।

ବିକିରଣ ବସ୍ତୁମାନଙ୍କ ଉପରେ ପଡ଼ିଲେ ଅନ୍ତତଃ ଆଂଶିକ ଭାବରେ ଶୋଷିତ ହୋଇଥାଏ । ପ୍ରତ୍ୟେକ ତାପମାତ୍ରାରେ ବସ୍ତୁମାନେ ତାପଜ ବିକିରଣ ନିଷ୍କାସନ ଓ ଶୋଷଣ କରୁଛନ୍ତି; ଯଦି ସେମାନଙ୍କର ତାପମାତ୍ରା କେବେ ବଢ଼ୁନାହିଁ ବା କମୁନାହିଁ, ତେବେ ସେମାନେ ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ ଯେତେ ବିକିରଣ ସଂଗ୍ରହ କରୁଛନ୍ତି, ସେତିକି ନିଷ୍କାସନ କରୁଛନ୍ତି । ତାପୀୟ ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାର ସରଳତମ ସାମ୍ଭବ୍ୟ ଘଟଣାର ବିଚାର କରିବା ପାଇଁ, ଗୋଟିଏ ଛିଦ୍ରର କାନ୍ଥ ଓ ସେଥି ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ବସ୍ତୁଗୁଡ଼ିକ, ସମସ୍ତେ ଗୋଟିଏ ସାଧାରଣ ତାପମାତ୍ରାରେ ରହନ୍ତୁ । ଏହିପରି ଗୋଟିଏ ସମତାପ ଗହ୍ୱର ବିଶେଷ ଭାବରେ ଆଲୋଚନାର ବସ୍ତୁ, କାରଣ ଏହା ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ବିକିରଣ କ୍ଷେତ୍ରର କେତେକ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ସରଳଗୁଣ ରହିଅଛି ।

ଗୋଟିଏ ସମତାପ ଗହ୍ୱରରେ ଯେକୌଣସି ଦତ୍ତ ଦିଗରେ ବିକିରଣ ସ୍ରୋତ ଅନ୍ୟ ଯେକୌଣସି ଦିଗରେ ବିକିରଣ ସ୍ରୋତ ସହିତ ସମାନ; ଗହ୍ୱର ମଧ୍ୟରେ ଯେକୌଣସି ବିନ୍ଦୁରେ ଏହା ନିଶ୍ଚୟ ସମାନ ହେବ; ଯେକୌଣସି ଦତ୍ତ ତାପମାତ୍ରାରେ ଥିବା ଯେକୌଣସି ବସ୍ତୁରେ ନିର୍ମିତ ହୋଇଥିଲେ ମଧ୍ୟ ସମସ୍ତ ଗହ୍ୱରରେ ଏହା ନିଶ୍ଚୟ ସମାନ ହେବ । ଆଉ ମଧ୍ୟ ବିକିରଣର ପ୍ରତ୍ୟେକ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ସଂଯୋଜକକୁ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ରଭାବରେ ବିଚାରକୁ ନେଲେ ମଧ୍ୟ, ଉକ୍ତ ସମସ୍ତ ଉକ୍ତି ସତ୍ୟ ହେବ ।

ଏ ଉକ୍ତିଗୁଡ଼ିକର ପ୍ରମାଣ କରିବାପାଇଁ ଦେଖାଇବାକୁ ହୁଏ ଯେ, ଯଦି ଏଥିରୁ କୌଣସି ଉକ୍ତି ଠିକ୍ ନହୁଏ, ତାପଗତିଜ୍ଞର ଦ୍ୱିତୀୟ ନିୟମର ବ୍ୟତିକ୍ରମ କଳ୍ପିତ ଗୋଟିଏ ଯନ୍ତ୍ର ତିଆରି କରିବା ସମ୍ଭବ ହୋଇଥାଏ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ଯଦି ପଶ୍ଚିମକୁ ଗତି କରୁଥିବା ବିକିରଣ ଉତ୍ତରକୁ ଗତି କରୁଥିବା ବିକିରଣଠାରୁ ଅଧିକ ହୁଏ, ଆମେ ଏକାପରି ଦୁଇଟି ଶୋଷକ ସେଠାରେ ପୁରାଇ ଗୋଟିକୁ ପୂର୍ବମୁହାଁ ଓ ଗୋଟିଏ ଦକ୍ଷିଣମୁହାଁ କରି ରଖିପାରିବା । ଏଥିରୁ ଗୋଟିଏ ଅଧିକ ପରିମାଣର ସ୍ରୋତରୁ ବିକିରଣ ସଂଗ୍ରହ କରି ଅନ୍ୟଟି ଅପେକ୍ଷା ଅଧିକ ଗରମ ହୋଇଯିବ । ତେଣୁ ଏ ଦୁଇ ଶୋଷକଙ୍କୁ ଉତ୍ସ ଓ Sink ଭାବରେ ବ୍ୟବହାର କରି ଗୋଟିଏ କାର୍ଣ୍ଣୋଟ୍ ଇଞ୍ଜିନ ବ୍ୟବହାର କରିବା ସମ୍ଭବ ହେବ, ତେଣୁ ସେ ସଂସ୍ଥାରେ ଅନ୍ୟ ପରିବର୍ତ୍ତନ ନଘଟାଇ ନିରବଚ୍ଛିନ୍ନ ଭାବରେ ତାପକୁ କାର୍ଯ୍ୟରେ ପରିଣତ କରି ପାରିବ । ଏହା

ଦ୍ୱିତୀୟ ନିୟମର ବ୍ୟତିକ୍ରମ । ବାଛୁଲ ଶୋଷକ ବ୍ୟବହାର କରି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟର ବିକିରଣ ପାଇଁ ଏହିପରି ପରୀକ୍ଷା କରାଯାଇ ପାରିବ ।

ଗୋଟିଏ ଗହ୍ୱର ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ବିକିରଣ କ୍ଷେତ୍ରର କାନ୍ଥ ବା ଅନ୍ୟ ପାର୍ଶ୍ୱ ବସ୍ତୁମାନଙ୍କରୁ ନିଷ୍କାସିତ ବିକିରଣ ସହିତ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ସମ୍ବନ୍ଧ ରହିଅଛି । ଗୋଟିଏ ଆଦର୍ଶ କୃଷ୍ଣ ପୃଷ୍ଠତଳର ଗୁଣ ହେଲା, ଏଥିରେ ଯେତେ ବିକିରଣ ପଡ଼ିବ ସବୁ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣରୂପେ ଶୋଷିତ ହୋଇଯିବ । ଗୋଟିଏ କୃଷ୍ଣପୃଷ୍ଠତଳରୁ ଯେଉଁ ବିକିରଣ ନିଷ୍କାସିତ ହେବ, ତାହା ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣରୂପେ ଏଥିରୁ ବାହାରି ଆସୁଥିବା ବିକିରଣ । ତେଣୁ ଯେକୌଣସି କୃଷ୍ଣ ପୃଷ୍ଠତଳରୁ ବା କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁରୁ ଯେକୌଣସି ଦିଗରେ ନିଷ୍କାସିତ ହେଉଥିବା ବିକିରଣ ସେହି ତାପମାତ୍ରାରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ ସମତାପ ଗହ୍ୱରରେ କୌଣସି ଗୋଟିଏ ଦିଗରେ ଗତି କରୁଥିବା ବିକିରଣ ସ୍ରୋତ ସହିତ ସମାନ । ଗୋଟିଏ କୃଷ୍ଣ ପୃଷ୍ଠତଳର ସମ୍ମୁଖରେ କେବଳ ସେହି ପୃଷ୍ଠତଳରୁ ନିଷ୍କାସିତ ହୋଇଥିବା ବିକିରଣର ମୋଟ ଶକ୍ତି ସାନ୍ଦ୍ରତା, ସେହି ତାପମାତ୍ରାରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ ଗହ୍ୱର ମଧ୍ୟରେ ଶକ୍ତିର ସାନ୍ଦ୍ରତାର ଠିକ୍ ଅର୍ଦ୍ଧେକ; କାରଣ ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁରୁ ଆସୁଥିବା ବିକିରଣ ଦିଗରେ ଗୋଟିଏ ଅର୍ଦ୍ଧଗୋଲକକୁ ସୀମିତ; କିନ୍ତୁ ଗୋଟିଏ ଗହ୍ୱରରେ ବିକିରଣ ସବୁ ଦିଗରେ ଗତି କରିଥାଏ ।

ତାତ୍ତ୍ୱିକ ଦୃଷ୍ଟିରୁ କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁ ବିକିରଣ ଘଟଣାଟିର ବହୁ ପ୍ରାଧାନ୍ୟ ରହିଅଛି । କାରଣ ଏହାର ଗୁଣଗୁଡ଼ିକର ସାର୍ବଜନୀନତା ଅଛି; ଏହା କୌଣସି ବିଶେଷ ବସ୍ତୁର ଗୁଣ ଉପରେ ନିର୍ଭରଶୀଳ ନୁହେଁ । ଏଠାରୁ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ପ୍ରଶ୍ନ ଜାଗି ଉଠେ । ଗୋଟିଏ କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁ ବିକିରଣରେ କିପରି ଶକ୍ତି ସାନ୍ଦ୍ରତା ତାପମାତ୍ରା ଅନୁସାରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇଥାଏ ? ଏବଂ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ବିକିରଣର ବଣ୍ଟନ କିପରି ? ଆଉ ମଧ୍ୟ ପାରମାଣବିକ ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକ ଦ୍ୱାରା କିପରି ଏହି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ବଣ୍ଟନ ସୃଷ୍ଟି ହୁଏ, ତାହା ଆମେ ବୁଝିବାପାଇଁ ଇଚ୍ଛା କରୁ ।

ପ୍ରଥମ ଦୁଇଟି ପ୍ରଶ୍ନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ, ବିଗତ ଶତାବ୍ଦୀ ମଧ୍ୟରେ ତାପଗତିକରୁ ପାରମାଣବିକ ଘଟଣା ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଅନ୍ୟ କୌଣସି ଅନୁମାନ ନନେଇ ଅଧିକ ବିଷୟ ପାଇବା ସମ୍ଭବ ହୋଇଥିଲା । ଏ ପନ୍ଥାଟି ହେଲା, ଗୋଟିଏ ସମତାପ ଗହ୍ୱରର ବିସ୍ତାର ଓ ସଙ୍କୋଚନର ପ୍ରଭାବ ବିଷୟରେ ଆଲୋଚନା କରିବା ଓ ଏ ପ୍ରଣାଳୀରେ ବିକିରଣ ଚାପ ଦ୍ୱାରା ଗହ୍ୱରର କାନ୍ଥରେ କେତେ କାମ ହୋଇଛି ତାର ହିସାବ କରିବା । ପରିଶିଷ୍ଟ ୫ରେ ପ୍ରଦତ୍ତ

ଭୌତିକ ଦ୍ୱାରା ବିକିରଣ ତତ୍ତ୍ୱରେ ବହୁ ପ୍ରଧାନ ପ୍ରଧାନ ବିଷୟବସ୍ତୁ ସଂକ୍ଷେପରେ ଦିଆଯାଇଅଛି ।

5·2 ପ୍ରାଥମିକ ବିକିରଣ ନିୟମ ସବୁ :

୧୮୭୯ରେ ଷ୍ଟିଫେନ ଅର୍ଦ୍ଧଗାଣିତିକ ପ୍ରଣାଳୀରେ ଦେଖାଇଲେ ଯେ, ଗୋଟିଏ କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁର ପ୍ରତି ଏକକ କ୍ଷେତ୍ରରୁ ନିଷ୍କାସିତ ହେଉଥିବା ପାବାର ପରମ ତାପମାତ୍ରାର ଚତୁର୍ଥ ଶକ୍ତିକୁ ଅନୁପାତୀ, ବା

$$R_B=\sigma T^4 \qquad (୫·୧)$$

ଏଠାରେ R_B = କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁର ବିକିରଣ କ୍ଷମତା

= ପ୍ରତି ଏକକ କ୍ଷେତ୍ରରୁ ବିକିରିତ ପାଓ୍ୱାର

σ = ଷ୍ଟିଫେନଙ୍କ ଧ୍ରୁବ $=0{\cdot}56686\times10^{-7}\,W/m^{2-\circ}k^4$

T = ପରମ ତାପମାତ୍ରା

ପାଞ୍ଚବର୍ଷ ପରେ ବୋଲ୍‌ଜମାନ ଏହି ଷ୍ଟିଫେନ ବୋଲ୍‌ଜମାନ ନିୟମକୁ ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ କରିଥିଲେ । ଏହି ସମୀକରଣ (୫·୧) ତାପଗତିକ ବିଷୟରୁ ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ ହୋଇଥିଲା (ଅନୁ: ୫କ·୨) ।

ତାପମାତ୍ରା ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ କେବଳ ପରିମାଣରେ ନୁହେଁ, ଗୁଣରେ ମଧ୍ୟ ବିକିରଣର ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୋଇଥାଏ । କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମରେ ଶକ୍ତିର ·ବଣ୍ଟନ ଚିତ୍ର ୫·୧ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । e_λ, ଏକବର୍ଣ୍ଣୀ ବିକିରଣ କ୍ଷମତାର ସଂଜ୍ଞା ନିମ୍ନମତେ ଦିଆଯାଇ- ଥାଇ । λ ଓ $\lambda+d\lambda$ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ପରିସର ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରତି ଏକକ କ୍ଷେତ୍ରରୁ ବିକିରଣ କ୍ଷମତା $e_\lambda d\lambda$ ରେ ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ । ସେଥିରୁ ସ୍ପଷ୍ଟ ଯେ ବିକିରଣ କ୍ଷମତା

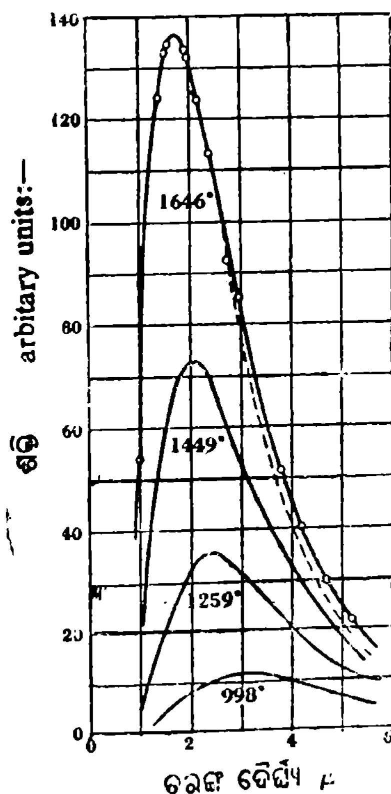
$R=\int_0^\infty e_\lambda d\lambda$ । ଚିତ୍ର ୫·୧ ରୁ ଏହା ଦେଖିହେବ ଯେ, e_λ ତାପମାତ୍ରା ଓ

ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ, ଉଭୟର ଫଳନ । ୧୮୯୩ରେ ୱାଇନ ଦେଖାଇଲେ ଯେ, (ଅନୁ:୫କ·୫) ଗୋଟିଏ କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁ ପାଇଁ

$$e_\lambda=T^5 f(\lambda T)=\lambda^{-5}F(\lambda T) \qquad (୫·୨)$$

ଏଠାରେ $F(\lambda T) = (\lambda T)^5 f(\lambda T)$ । ତେଣୁ e_λ/T^5 ସମସ୍ତ କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁ ପାଇଁ ସମାନ । ଏହା ଚିତ୍ର ୫·୨ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଏଠାରେ ୧୮୯୯ ମସିହାରେ ଲୁମର ଓ ପ୍ରିଙ୍ଗସେଇମ୍ ପାଇଥିବା ପରୀକ୍ଷାଫଳ (ଚିତ୍ର ୫·୧ରେ ଦିଆଯାଇଥିବା ପରୀକ୍ଷା ଫଳ) ଭିନ୍ନ ଆକାରରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଗୋଟିଏ ରେଖା ସବୁ ତାପମାତ୍ରାରେ କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁ ବିକିରଣ ପ୍ରକାଶ କରିପାରେ । ଏହା ସ୍ପଷ୍ଟ ଯେ, ଯଦି λ_m ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟଠାରେ e_λ ସର୍ବାଧିକ ହୁଏ,

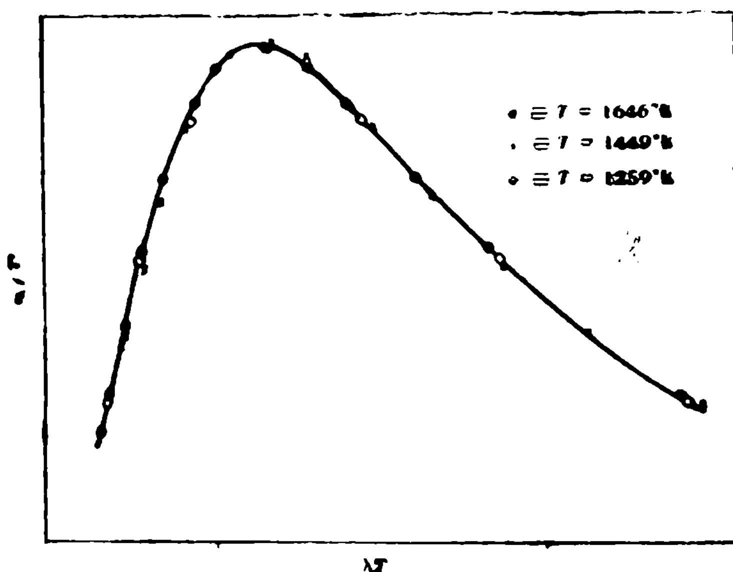
$$\lambda_m T = \text{ଧ୍ରୁବ} = 2{\cdot}898 \times 10^{-3} m^0 k \qquad (୫{\cdot}୩)$$



[ଚିତ୍ର ୫·୧ ପ୍ରତିଗୋଟି କେଲଭିନ୍ ତାପମାତ୍ରାପାଇଁ ଗୋଟିଏ ଧ୍ରୁବ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବ୍ୟବଧାନ $\Delta\lambda$ରେ ଶକ୍ତିର ବଣ୍ଟନ]

ସବୁ ତାପମାତ୍ରା ପାଇଁ ଏହା ଠିକ୍ ହେବ । ୱାଇନ୍‌ଙ୍କ ବିସ୍ଥାପନ ନିୟମର ଏହା ଏକ ବିଶେଷ ରୂପ ।

ତେଣୁ, ତାପଗତିକୀ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରି ଗଢ଼ି ଉଠିଥିବା ଯୁକ୍ତି ବଳରେ, କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁ ବିକିରଣ ସମସ୍ୟାଟି ଗୋଟିଏ ଅଜ୍ଞାତ ଫଳନ, $f\ (\lambda T)$ ବା $F\ (\lambda T)$ର ନିରୂପଣରେ ପରିଣତ ହୋଇଗଲା । ଏହି ଫଳନକୁ ପୁରାତନ ତତ୍ତ୍ୱରୁ ନିରୂପଣ କରିବାର ସମସ୍ତ ଚେଷ୍ଟା



[ଚିତ୍ର ୫·୨ କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁ ବିକିରଣ ପାଇଁ ୱାଇନ୍ ବିସ୍ଥାପନ ନିୟମର ପରୀକ୍ଷାମୂଳକ ପ୍ରମାଣ]

ବିଫଳ ହେଲା । ତଥାପି ପୁରାତନ ଭିତ୍ତିରେ ପ୍ରସ୍ତାବିତ ହୋଇଥିବା ଦୁଇଟି ସୂତ୍ର ଆଲୋଚନା-ଯୋଗ୍ୟ । ୱାଇନ୍ ବିକିରଣର ନିଷ୍କାସନ ଓ ଶୋଷଣ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ବିଶେଷ ଅନୁମାନ ନେଇ ଏହି ସୂତ୍ର ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ କରିଥିଲେ । ସେ ଦେଖିଲେ ଯେ, λ ଓ $\lambda+d\lambda$ ମଧ୍ୟରେ ଶକ୍ତି ସାନ୍ଦ୍ରତା, $U_\lambda d\lambda$, ହେଲା,

$$U_\lambda d\lambda = \tfrac{1}{4}\, c e_\lambda d\lambda = C_1 \lambda^{-5} e^{-c_2/\lambda T}\ d\lambda \qquad (୫·୬)$$

ଏଠାରେ C ହେଲା ଶନ୍ଧ ସ୍ଥାନରେ ଆଲୋକର ବେଗ । ଅନିରୂପିତ ଧ୍ରୁବ C_1 ଓ C_2କୁ ସୁବିଧାଜନକ ଭାବରେ ବାଛି ୱାଇନ୍‌ଙ୍କର ବିସ୍ଥାପନ ନିୟମକୁ ଚିତ୍ର ୫.୨ର ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ଫଳ ସଙ୍ଗେ ମିଳାଇ ଦେଇ ହେବ । କେବଳ λT ର ଅଧିକ ମୂଲ୍ୟଠାରେ ଏପରି ସମ୍ଭବ ହେବନାହିଁ; କାରଣ ସେଠାରେ ଏହା ବହୁତ କମ୍ ମୂଲ୍ୟ ଦେବ । ୧୯୦୦ ରେ ରାଲେ କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁ ବିକିରଣ ପ୍ରଶ୍ନଟିରେ ଶକ୍ତିର ସମବଣ୍ଟନ ନିୟମ ପ୍ରୟୋଗ କଲେ । ଏହା ସଙ୍ଗେ ଜିନ୍‌ସଙ୍କର କାର୍ଯ୍ୟ ମିଶିବାପାଇଁ ଯେଉଁ ସୂତ୍ର ମିଳିଲା, ତାହା e_λ ରେଖାର ଉଚ୍ଚ-λT ଅଂଶରେ ମେଳ ଖାଇଲା, କିନ୍ତୁ λT କମିବାବେଳେ ଏହା ଅନନ୍ତକୁ ଉଠିଗଲା । ରାଲେ ଓ ଜିନ୍‌ସ ଯେଉଁ ଯୁକ୍ତି ଦେଲେ, ତାହା ତଳେ ଆଲୋଚିତ ହେବ, ଏହା ଆଧୁନିକ ଭୌତିକୀରେ ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇଅଛି ।

5·3 ଗୋଟିଏ ଗହ୍ୱରରେ ମୁକ୍ତିମାତ୍ରା :

ବୀଣା ବା ବଂଶୀ ପରି ଦୋଳାୟମାନ ସଂସ୍ଥାରେ ବହୁ ଭାବରେ ଦୋଳନ ହୋଇ-ଥାଏ । ଗୋଟିଏ ଗହ୍ୱର ଭିତରେ ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ସ୍ପନ୍ଦନ ପରିସର ମଧ୍ୟରେ କେତେ-ସଂଖ୍ୟକ ଭାବ ଅଛି, ତାହା ଜାଣିବାପାଇଁ ଆମେ ଆଗ୍ରହୀ । କିନ୍ତୁ ଏ ପ୍ରଣାଳୀଟି ପ୍ରଥମେ ଏକବିମିତିକ ସ୍ଥାନକୁ ପ୍ରୟୋଗ କରିବା ସୁବିଧାଜନକ ହେବ । ଦୁଇଟି ସ୍ଥିର ବିନ୍ଦୁ A ଓ B ମଧ୍ୟରେ L ଦୈର୍ଘ୍ୟବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ତାର ବିସ୍ତାରିତ ହୋଇ ରହୁ । A ଓ B ମଧ୍ୟରେ ଯେଉଁସବୁ ସ୍ପନ୍ଦନ ଲାଗି ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟକ ଲୁପ୍ ହୋଇ ପାରିବ କେବଳ ସେହି ସ୍ପନ୍ଦନଗୁଡ଼ିକ ଠିଆତରଙ୍ଗ ସୃଷ୍ଟି କରିପାରିବେ । ପ୍ରତ୍ୟେକ ଲୁପ ଗୋଟିଏ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟର ଅର୍ଦ୍ଧେକ ମାତ୍ର ହୋଇଥିବାରୁ, କେବଳ ଯେଉଁ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ λ ପାଇଁ

$$\frac{L}{\lambda/2} = n_x = \frac{2L}{\lambda} \qquad (୫.୫)$$

କେବଳ ସେହି ତରଙ୍ଗମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଠିଆ ତରଙ୍ଗ ହୋଇପାରିବ । ଏଠାରେ n_x ହେଲା ଗୋଟିଏ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ।

λ ଓ $\lambda+\Delta\lambda$ ମଧ୍ୟରେ ଏଥିରୁ କେତେଟି ଗାଢ ରହୁଛି, ଆମେ ଜାଣିବାକୁ ଚାହୁଁଛୁ । ଆମେ n_x କୁ ଯଦି ଗୋଟିଏ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା Δn_x ଦ୍ୱାରା କଣାଇ ଦେଉ, ସମୀକରଣ (୫'୫) ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ λର ମୂଲ୍ୟ $\lambda+\Delta\lambda$ କୁ ବଢ଼ିଯିବ । ଏଠାରେ,

$$\frac{2L}{\lambda+\Delta\lambda}=n_x-\Delta n_x$$

L ବହୁତ ବଡ଼ ଓ ΔL ବହୁତ ସାନ ହେଲେ, ଆମେ ଲେଖିପାରିବା $\Delta n_x=-2L\Delta L/\lambda^2$, ଏଠାରେ Δn_x ବର୍ତ୍ତମାନ $\Delta\lambda$ ମଧ୍ୟରେ ଦୋଳନ ସଂଖ୍ୟା ବୁଝାଉଅଛି ।

ବର୍ତ୍ତମାନ, ପ୍ରତି ଗାଢ ସହିତ ଦୁଇଟି ମୁକ୍ତମାତ୍ରା ସଂଯୁକ୍ତ କାରଣ ଦୋଳନଗୁଡ଼ିକ ଅନୁପ୍ରସ୍ଥରେ ହୋଇଥାଏ ଓ ତାହାର ପ୍ରତ୍ୟେକ ବନ୍ଧୁ ତାହାକୁ ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ଥିବା ଯେ କୌଣସି ସମତଳରେ କମ୍ପିପାରେ । ତେଣୁ λ ଓ $\lambda+\Delta\lambda$ ପରିସର ମଧ୍ୟରେ ତାହାର ଏକକ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ମଧ୍ୟରେ ମୁକ୍ତମାତ୍ରାର ମୋଟ ସଂଖ୍ୟା ହେବ,

$$\Delta n_1=\frac{4\Delta\lambda}{\lambda^2} \qquad (୫'୭)$$

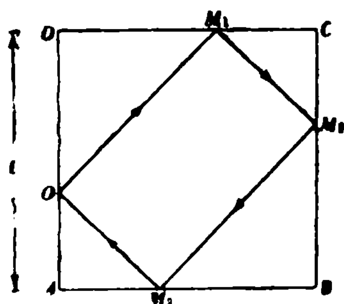
ଦ୍ୱିମିତିକ ସ୍ଥାନରେ ସମସ୍ୟାଟି ଅଧିକ ଜଟିଳ ହେବ, କିନ୍ତୁ ଏକାପରି ସମାହିତ ହୋଇ ପାରିବ । ପ୍ରଥମେ L ପାର୍ଶ୍ୱ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ବର୍ଗରେ (ଚିତ୍ର ୫'୩କ) ତରଙ୍ଗଗୁଡ଼ିକ ବିଷୟରେ ଆଲୋଚନା କରିବା । OM_1 ଦିଗରେ ପ୍ରଥମରୁ ଗତି କରୁଥିବା ଗୋଟିଏ ତରଙ୍ଗମାଳା ପ୍ରତିଫଳନ ପରେ $M_1\ M_2$ ଦିଗରେ ଗତି କରିବ । M_2 ରେ ପ୍ରତିଫଳନ ପରେ ସେମାନଙ୍କର ପ୍ରବାହର ଗତି ହେବ $M_2\ M_3$—ଏହା OM_1 ପ୍ରତି ସମାନ୍ତର ମାତ୍ର ବିପରୀତମୁଖୀ; ଇତ୍ୟାଦି । ଏହି ତରଙ୍ଗମାଳାର ଗତି ପାଇଁ ମାତ୍ର ଚାରିଗୋଟି ଦିଗ ସମ୍ଭବ, $\pm OM_1$ ଓ $\pm M_1\ M_2$ ।

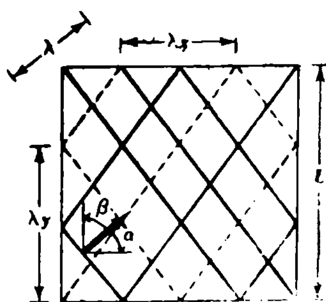
ଏହିପରି ଚାରି ହୋଇଥିବା ଚାରିଗୋଟି ତରଙ୍ଗଶ୍ରେଣୀଗୁଡ଼ିକ ଏକତ୍ର ହୋଇ ଗୋଟିଏ ଠିଆ ତରଙ୍ଗ ଶ୍ରେଣୀ ସୃଷ୍ଟି କରନ୍ତି । ଯଦି x ଓ y ଉଭୟ ଦିଗରେ ଅର୍ଦ୍ଧ

ତରଙ୍ଗଗୁଡ଼ିକର ସଂଖ୍ୟା ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ହୁଏ, ତେବେ ଏହା ସମ୍ଭବ ହୋଇଥାଏ । ମନେକର L ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ସମଘନ ମଧ୍ୟରେ z ଦିଗରେ ବିଦ୍ୟୁତ ଭେକ୍ଟର ପାର୍ଶ୍ୱୀଭୂତ ହୋଇ ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକ ତରଙ୍ଗ ରହିଅଛି । ଯେହେତୁ ବିଦ୍ୟୁତ-ଶକ୍ତିତାର z ସଂଯୋଜକ E_z ନିଶ୍ଚୟ $x=0$ ବା L ଓ $y=0$ ବା L ହେବାବେଳେ ସୀମା ସମତଳରେ ଶୂନ୍ୟହେବ, ତରଙ୍ଗ ସମୀକରଣଗୁଡ଼ିକର ଗ୍ରହଣୀୟ ସମାଧାନ ହେଲା,

$$E_x = f\,(z,\,L)\ \text{Sin}\ \frac{n_x\pi}{L}\,x\ \sin\frac{n_y\pi}{L}\,y$$

ଏଠାରେ n_x ଓ n_y ଗୁଡ଼ିକ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା; ଏହା ଠିଆତରଙ୍ଗର ସମୀକରଣ । ଚିତ୍ର ସଂଖ୍ୟାର କାନ୍ଥମାନଙ୍କଠାରେ ଯେ ସ୍ଥିରବିନ୍ଦୁ ହେବ । ଏହି ସର୍ତ୍ତ ଗ୍ରହଣୀୟ ତରଙ୍ଗ





[ଚିତ୍ର ସଂ (କ) ଗୋଟିଏ ବର୍ଗ ମଧ୍ୟରେ ତରଙ୍ଗମାନଙ୍କର ପ୍ରତିଫଳନ (ଖ) ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ସମଘନ ମଧ୍ୟରେ xy ସମତଳରେ ଠିଆ ତରଙ୍ଗ ।]

ଦୈର୍ଘ୍ୟମାନଙ୍କୁ ସୀମିତ କରି ଦେଉଅଛି, ବିଶେଷ କରି କୌଣସି କାନ୍ଥର ପ୍ରବାହ ଦିଗରେ ଲମ୍ବ ଛାୟା ନିଶ୍ଚୟ ଅର୍ଦ୍ଧ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟମାନଙ୍କର ଗୋଟିଏ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ହେବ । ଚିତ୍ର ସଂଖ୍ୟାରେ ମୋଟା ଗାର ଚିହ୍ନ ଗୋଟିଏ ପ୍ରବାହ ଦିଗ ବୁଝାଉଅଛି, ଏହା x ଅକ୍ଷ x ଅକ୍ଷ $\alpha = 37°$ କୋଣ କରୁଅଛି; ଏହି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଘଟଣା ପାଇଁ x ଦିଗରେ ସ୍ୱରଗୋଟି ଅର୍ଦ୍ଧ ତରଙ୍ଗ ସଂପୃକ୍ତ ଓ y ଦିଗରେ ତିନିଗୋଟି,

ଚିତ୍ରରୁ ଏହା ସ୍ପଷ୍ଟ ଯେ, $\lambda_x = \lambda/\cos\alpha$ ଓ

$$\lambda_y = \frac{\lambda}{\cos\beta} = \frac{\lambda}{\sin\alpha} \text{ ।}$$

$\sin\left(\frac{n_x \pi x}{L}\right) = \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right)$ ହେଉଥିବାରୁ,

ଆମେ $n_x\pi/L = (2\pi\cos\alpha)/\lambda$ ପାଇବା; ସେହିପରି $n_y\pi/L = (2\pi\cos\beta)/\lambda$ । ଯଦି ଆମେ n_x ଓ n_y ପାଇଁ ସମାଧାନ କରିବା (ପ୍ରତ୍ୟେକଟି ବର୍ଗାକାର) ଓ ଯୋଗ କରିବା, ତେବେ ଆମେ ପାଇବା

$$n_x^2 + n_y^2 = \frac{4L^2}{\lambda^2}(\cos^2\alpha + \cos^2\beta)$$

$$= \frac{4L^2}{\lambda^2}(\cos^2\alpha + \sin^2\alpha)$$

$$= \frac{4L^2}{\lambda^2}$$

ଦଣ୍ଡାୟମାନ ତରଙ୍ଗଗୁଡ଼ିକ ରଚନା କରିବାର ଏହି ପ୍ରଣାଳୀ ଗୋଟିଏ ତ୍ରିବିମିତକ ସମଘନ ପାଇଁ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇ ପାରିବ—ଏଥିପାଇଁ 8ସେଟ୍ ତରଙ୍ଗ ନେବାକୁ ପଡ଼ିବ । $n_z\pi/L = 2\pi\cos\gamma)/\lambda$ ସର୍ତ୍ତଟି ମଧ୍ୟ ବ୍ୟବହାର କରିବାକୁ ହେବ । $\cos^2\alpha + \cos^2\beta + \cos^2\gamma = 1$ ହୋଇଥିବାରୁ ଆମେ ପାଇବା

$$n_x^2 + n_y^2 + n_z^2 = \frac{4L^2}{\lambda^2} \qquad (୫·୭)$$

ଏହି ସମୀକରଣରୁ ଗୋଟିଏ ଦତ୍ତ ମୂଲ୍ୟ λ_mଠାରୁ କେତେଟି ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବଳ ହେବାରୁ ସମ୍ଭାବନା, ତାହା ସ୍ଥିର କରି ପାରିବା । n_x, n_y, n_zର ଯୁକ୍ତ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା-ଗୁଡ଼ିକର ଯେଉଁ ସାମ୍ଭବ୍ୟ ସମ୍ମିଶ୍ରଣଗୁଡ଼ିକ ଫଳରେ ସମୀକରଣ (୫·୭ କ)ର ବାମ ପକ୍ଷ $4L^2/\lambda_m^2$ ରୁ କମ୍ ହେବ, ଏହି ସଂଖ୍ୟା ସେ ସଂଖ୍ୟା ସହ ସମାନ । ଏହି ସଂଖ୍ୟା ନିରୂପଣ କରିବାପାଇଁ, n_x, n_y, n_zର ପ୍ରତ୍ୟେକ ସେଟ୍ ଚିତ୍ର ୫·୪ରେ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ବିନ୍ଦୁଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହେବା ଅନୁମାନ କର । ଏହି ବିନ୍ଦୁଗୁଡ଼ିକ ଏକକ ଦୈର୍ଘ୍ୟବିଶିଷ୍ଟ ସମଘନକାର ପ୍ରକୋଷ୍ଠର କୌଣସି ବିନ୍ଦୁମାନଙ୍କରେ ପଡ଼ିବେ । n_x, n_y, n_zର ଯେତେ ସଂଖ୍ୟାକ ମୂଲ୍ୟ

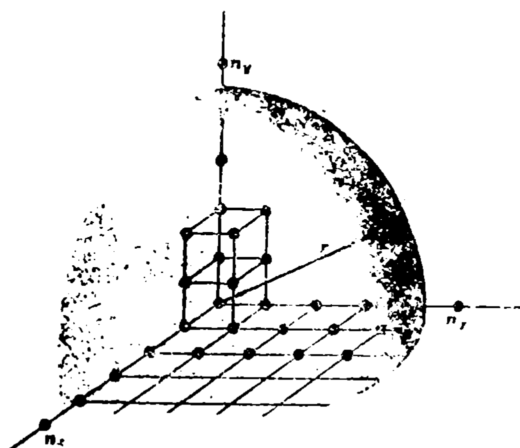
$\lambda > \lambda_m$ ହେବ, ସେଗୁଡ଼ିକର ସଂଖ୍ୟା, ତେଣୁ, $2L/\lambda_m$ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ଗୋଲକର ଭିତରେ ଥିବା ବିନ୍ଦୁଗୁଡ଼ିକୁ 8 ର ଭାଗ କଲେ ମିଳୁଥିବା ସଂଖ୍ୟା ହେବ (କାରଣ ଆମେ କେବଳ ସମସ୍ତ-ଯୁକ୍ତ ସଂଖ୍ୟା ଥିବା ଅଷ୍ଟାଂଶର ବିନ୍ଦୁଗୁଡ଼ିକୁ ପାଇବାକୁ ଇଚ୍ଛା କରୁ) । ଏହା ହେଲା,

$$n=\left(\frac{4\pi}{3}\cdot\frac{8L^3}{\lambda_m^3}\right)\frac{1}{8}$$

$$=\frac{4\pi}{3\lambda^3}L^3$$

ଏହି ସମୀକରଣରେ ଅବକଳନ λ ଓ $\lambda+d\lambda$ ପରସ୍ପର ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ତରଙ୍ଗମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ଦେବ; ତେଣୁ

$$dn=\frac{4\pi d\lambda}{\lambda^4} \text{ (ସମଘନର ଆୟତନ)} \qquad (୫୮)$$



[ଚିତ୍ର ୫.୪ n_x, n_y, n_zର ଅନୁମତିପ୍ରାପ୍ତ ମୂଲ୍ୟଗୁଡ଼ିକ ଗଣନା କରିବାପାଇଁ ଗ୍ରାଫିକ ପ୍ରଣାଳୀ । ଏଥିପାଇଁ $n_x^2+n_y^2+n_z^2$ ହିଁ r^2 ଠାରୁ କମ୍ ହେବ ।

ଏଠାରେ dn ଓ $d\lambda$ ଉଭୟଙ୍କୁ ସୁବିଧା ଦୃଷ୍ଟିରୁ ଯୁକ୍ତ ବୋଲି ନିଆଯାଇଅଛି । ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକ ତରଙ୍ଗମାନଙ୍କ ଲାଗି ପ୍ରତି ଅନୁମେୟ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ପାଇଁ ଦୁଇଟି ପାର୍ଶ୍ୱ କରଣ ରହିଅଛି । ତେଣୁ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ λ ଓ $d\lambda$ ମଧ୍ୟରେ ବା ସ୍ପନ୍ଦନ ν ଓ $\nu+d\nu$ ମଧ୍ୟରେ ଗହ୍ୱରର ଏକକ ଆୟତନରେ ଠିଆ ତରଙ୍ଗମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଅବଶେଷରେ ଆମେ ମୁକ୍ତମାତ୍ରା ସଂଖ୍ୟା ପାଇବା,

$$g(\lambda)\, d\lambda = \frac{8\pi d\lambda}{\lambda^4}$$

$$g(\nu)\, d\nu = \frac{8\pi\nu^2 d\nu}{c^3} \qquad (୫·୯)$$

5·4 ରାଲେ-ଜିନ୍ସ ବିକିରଣ ନିୟମ :

ଗୋଟିଏ ସମତାପ ମାତ୍ରାରେ ଥିବା ଗହ୍ୱରରେ ବିକିରଣ ପରିମାଣରେ ଓ ଷ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ଗୁଣମାନଙ୍କରେ ଧ୍ରୁବ; ତେଣୁ ଯେଉଁ ଶକ୍ତି ଶୋଷିତ ହୋଇଥାଏ, ତାହା ପୁଣି ବିକିରିତ ହୋଇଥାଏ । କାନ୍ଥମାନଙ୍କଠାରେ ସମସ୍ତ ଶକ୍ତିର ପ୍ରତିଫଳନ ଘଟିଲେ ଫଳ ଯାହା ହୁଅନ୍ତା, ଏ କ୍ଷେତ୍ରରେ ତାହାହିଁ ହୋଇଥାଏ । ରାଲେ ଓ ଜିନସ ଅନୁମାନ କରିଥିଲେ ଯେ, କାନ୍ଥମାନଙ୍କରେ ଥିବା ଦୋଳକମାନେ ସର୍ବଦା ଶକ୍ତି ଶୋଷଣ ଓ ବିକିରଣ କରୁଛନ୍ତି, ପ୍ରତ୍ୟେକ ଦୋଳକ ତା'ର ସ୍ୱଧର୍ମୀ ସ୍ପନ୍ଦନରେ ଏହା କରୁଅଛି । ଯେ କୌଣସି ଦଶ ଦୋଳକ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନଭାବରେ କାର୍ଯ୍ୟ କରିବା ପାଇଁ ଗହ୍ୱର ମଧ୍ୟରେ ଠିଆ ତରଙ୍ଗ ସବୁ ନିଶ୍ଚୟ ଗଢ଼ି ଉଠିବେ । କିନ୍ତୁ ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ଆକାରର ଯେ କୌଣସି ଗହ୍ୱର ପାଇଁ ନିକଟତମ ସ୍ପନ୍ଦନମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ତାରତମ୍ୟ ଏତେ କମ୍ ଯେ ବିକିରଣ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ହେଲା ପରି ଦେଖାଯାଏ ।

ଶକ୍ତିର ସମବଣ୍ଟନ ନିୟମ ଦରକାର କରୁଛି ଯେ, ପ୍ରତି ମୁକ୍ତମାତ୍ରା ସହିତ ଗତିଜ ଶକ୍ତି ପାଇଁ $\frac{1}{2} kT$ ଶକ୍ତି ଓ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ପାଇଁ ଆଉ $\frac{1}{2}$ kT ଶକ୍ତି ସଂଯୁକ୍ତ ହେବ । ଦୋଳନର ପ୍ରତ୍ୟେକ ଘାତକୁ kT ଶକ୍ତି ପ୍ରଦାନ କରିବା ଫଳରେ λ ଓ $\lambda+d\lambda$ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ମଧ୍ୟରେ ଶକ୍ତି ସାନ୍ଦ୍ରତା $U_\lambda d\lambda$ ହେବ,

$$U_\lambda d\lambda = kT g(\lambda)\, d\lambda = 8\pi kT\, \lambda^{-4} d\lambda \qquad (୫·୧୦)$$

ସମୀକରଣ (୫·୧୦) ହେଲା କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁ ବିକିରଣ ପାଇଁ ରେଲେ-ଜିନ୍‌ସ ସୂତ୍ର । ଏଠାରେ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ଯେ ଏଥିରେ କୌଣସି ନୂତନ ଧ୍ରୁବ ନାହିଁ । ଅଧିକ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟମାନଙ୍କରେ ଏହି ସୂତ୍ର ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ଫଳ ସଙ୍ଗେ ମିଳିଯାଇଥାଏ; କିନ୍ତୁ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମର ସର୍ବାଧିକ ସ୍ଥାନରେ ଓ ଶ୍ରେଷ୍ଠ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟମାନଙ୍କରେ ଏହା ବହୁତ ପରିମାଣରେ ଅଧିକ ମୂଲ୍ୟସବୁ ଦେଇଥାଏ । ଆଉ ମଧ୍ୟ, ଏହା U_λ କୁ କୌଣସି ସର୍ବାଧିକ ମୂଲ୍ୟ ଦିଏନାହିଁ । କାର୍ଯ୍ୟତଃ ଗହ୍ୱରର ମଧ୍ୟରେ ଶକ୍ତି ସାନ୍ଦ୍ରତା ଅନନ୍ତ ହୋଇଯିବ, କାରଣ ସାମ୍ଭବ୍ୟ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟମାନଙ୍କରେ କୌଣସି ନିମ୍ନ ସୀମା ନାହିଁ;

$$U = \int_0^\infty U_\lambda d\lambda \rightarrow \infty \text{ ।}$$

ପ୍ରକୃତ ପକ୍ଷରେ, ସମତାପମାତ୍ରାରେ ଥିବା ଗହ୍ୱରରେ ବିକିରଣ ସାନ୍ଦ୍ରତା ସାଧାରଣତଃ ଗୋଟିଏ କଠିନ ପଦାର୍ଥରେ ତାପଜ ଆନ୍ଦୋଳନ ଫଳରେ ହେଉଥିବା ଶକ୍ତି ସାନ୍ଦ୍ରତାଠାରୁ କମ୍, ଯଥା : $1000°k$ ଠାରେ U ହେଲା $7{\cdot}5 \times 10^{-4} g/m^3$, ଏହା ତୁଳନାରେ ଲୁହାରେ ମୋଟ ସାନ୍ଦ୍ରତା ହେଲା $10^9 g/m^3$ କୋଟିର । $10^{60}k$ ତାପମାତ୍ରାର ଉପରକୁ ଏପରି ତୁଳନା ବିପରୀତ ଫଳ ଦେବ । ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଅନନ୍ତ ଶକ୍ତି ପ୍ରତ୍ୟେକ ବସ୍ତୁର ବିଶିଷ୍ଟ ତାପକୁ ଅନନ୍ତ କରିଦେବ ।

5·5 କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁ ବିକିରଣ ବିଷୟରେ ପ୍ଲାଙ୍କଙ୍କର ଗବେଷଣା :

ପ୍ଲାଙ୍କ ୧୯୦୦ ମସିହାରେ କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଠିକ୍ ସୂତ୍ର ଆବିଷ୍କାର କରିଥିଲେ । ପୂର୍ବରୁ ଥିବା ମୌଳିକ ଧାରଣାଗୁଡ଼ିକଠାରୁ ଗୋଟିଏ ପ୍ରଧାନ ବିଚ୍ୟୁତ ଘଟାଇ ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ଫଳ ସହିତ ସଂପୂର୍ଣ୍ଣ ମିଳିଯାଉଥିବା ଗୋଟିଏ ସୂତ୍ର ସେ ବାହାର କଲେ । ଏହାହିଁ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ତତ୍ତ୍ୱର ଜନ୍ମ ।

ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକ ତରଙ୍ଗମାନଙ୍କ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ହର୍ଜ୍‌ଙ୍କ ପରୀକ୍ଷା ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ତରଙ୍ଗ-ବାଦକୁ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣଭାବରେ ପ୍ରତିଷ୍ଠିତ କଲାପରି ମନେ ହୁଏ । ଏହା ପ୍ଲାଙ୍କଙ୍କୁ ଦୃଢ଼ ଧାରଣା ଦେଲା ଯେ, କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁର ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମର ସ୍ୱରୂପକୁ ବିଦ୍ୟୁତ ଦୋଳକମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଏହାର

ଶୋଷଣ ଓ ବିକିରଣ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ନିୟମରେ ହିଁ ରହିଅଛି । ଆମେ ଅନୁମାନ କରି ପାରିବା ଯେ ଗୋଟିଏ ସମତାପମାତ୍ରାରେ ଥିବା ଗହ୍ୱରର କାନ୍ଥରେ ସମସ୍ତ ସ୍ପନ୍ଦନବାନ ଦୋଳକ ସବୁ ରହିଅଛି । ମୂଳତଃ ଏଗୁଡ଼ିକ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଦୋଳକମାନଙ୍କ ସହ ସମାନ ଏବଂ କାନ୍ଥମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଏହି ବିକିରଣର ଶୋଷଣ ଓ ନିଷ୍କାସନ ଏହି ଦୋଳକମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ସଂଘଟିତ ହୋଇଥାଏ ।

ବିଦ୍ୟୁତ୍‌ଚୁମ୍ବକତତ୍ତ୍ୱ ସାହାଯ୍ୟରେ ଗବେଷଣାରୁ ପ୍ଲାଙ୍କ ସିଦ୍ଧାନ୍ତରେ ଉପନୀତ ହେଲେ ଯେ, ବହୁ ସମୟ ପରେ ଗୋଟିଏ ଦୋଳକ ସେହି ଦୋଳକର ସ୍ପନ୍ଦନ ସହ ସମାନ ସ୍ପନ୍ଦନକୁ ହିଁ ପ୍ରଭାବିତ କରିବ । ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ସେହି ସ୍ପନ୍ଦନର ଦୋଳକମାନଙ୍କର ହାରାହାରି ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ଓ ସେହି ସ୍ପନ୍ଦନର ସାନ୍ଦ୍ରତା ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଅନୁପାତ ରହିବ । କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ସମସ୍ୟାଟି କୌଣସି ଦତ୍ତ ତାପମାତ୍ରାରେ ଗୋଟିଏ ଦୋଳକର ହାରାହାରି ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ସମସ୍ୟାରେ ପରିଣତ ହୋଇଗଲା । ସେ ଯଦି ଏଥିପାଇଁ ପୁରାତନ ମୂଲ୍ୟ kT ଧରନେବେ (ଏହା ଶକ୍ତିର ସମବଣ୍ଟନ ନିୟମରୁ ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ), ତେବେ ସେ ରାଲେ-ଜିନ୍‌ସ ସୂତ୍ର ପାଇବେ ।

କିନ୍ତୁ, ପ୍ଲାଙ୍କ ଦୋଳକମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଶକ୍ତିର ସମବଣ୍ଟନ ନିୟମକୁ ଗ୍ରହଣ କରି ନଥିଲେ । ଗୋଟିଏ ଭିନ୍ନ ଅନୁମାନ ନେଇ ସେ ପ୍ରଥମେ ବିକିରଣ ସାନ୍ଦ୍ରତା ପାଇଁ ସମୀକରଣ (୫.୪)ର ୱାଇନ୍ ସୂତ୍ର ପାଇଥିଲେ । ୧୯୦୦ ରେ ଲୁମର ଓ ପ୍ରିଙ୍ଗ୍‌ସେଇମ୍ ଏବଂ ରୁବେନସ୍ ଓ କୁର୍ଲବାମ୍‌ଙ୍କ କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର ନୂତନ ପରିମାପରୁ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଭାବରେ ଜଣାଗଲା ଯେ, ୱାଇନ୍‌ଙ୍କ ସୂତ୍ରଟି ଠିକ୍ ନୁହେଁ । ପ୍ଲାଙ୍କ ଚେଷ୍ଟା କରି ୱାଇନ୍‌ଙ୍କ ସୂତ୍ରରେ ଏକ ପରୀକ୍ଷାମୂଳକ ପରିବର୍ତ୍ତନ କଲେ, ଏହା ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ଫଳ ସହିତ ଭଲ ଭାବରେ ମିଳିଥିଲା । ତାପରେ ସେ ଦୋଳକମାନଙ୍କର ଗୋଟିଏ ସେଟ୍ ମଧ୍ୟରେ ଶକ୍ତି ବଣ୍ଟନର ପରିସଂଖ୍ୟାନ ତତ୍ତ୍ୱକୁ ପରିବର୍ତ୍ତନ କରି ଏହି ସୂତ୍ର ପାଇବାକୁ ଚେଷ୍ଟା କଲେ । ଏହା କରିବା ପାଇଁ ସେ ଗୋଟିଏ ନୂତନ ଅନୁମାନର ବଶବର୍ତ୍ତୀ ହେଲେ । ଏହି ଅନୁମାନ ପୁରାତନ ଧାରଣାକୁ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଭାଙ୍ଗିଦେଲା । ଏହି ଅନୁମାନକୁ ବୁଝିବାର ସୁବିଧାଦୃଷ୍ଟିରୁ ପରିସଂଖ୍ୟାନ ତତ୍ତ୍ୱର ଏକ ସଂକ୍ଷିପ୍ତ ବର୍ଣ୍ଣନା ଦିଆଯିବ ।

5·6 ତାପୀୟ ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ଥିବା ଦୋଳକମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଶକ୍ତିର ବଣ୍ଟନ :

ବସ୍ତୁତ୍ୱ m ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ସରଳ ରୈଖିକ ଦୋଳକ ସରଳ ଆବର୍ତ୍ତୀ ଦୋଳନ ରତ ରହୁ । ଏହାର ବିସ୍ଥାପନ x ଓ ଏହାର ସଂବେଗ $p = m\, dx/dt$ ହେଉ । ଦୋଳକର ସ୍ଥିତଜ ଶକ୍ତିକୁ $\frac{1}{2} bx^2$ ଆକାରରେ ଲେଖାଯାଇ ପାରିବ, b ହେଲା ବଳଧ୍ରୁବ । ଏହାର ଗତିଜ ଶକ୍ତି ହେଲା $\frac{1}{2} m (dx/dt)^2 = p^2/2m$ । ତେଣୁ ଏହା ମୋଟ ଶକ୍ତି ହେଲା,

$$\epsilon = \frac{p^2}{2m} + \frac{1}{2} bx^2 \qquad (5\text{·}11)$$

ଏବଂ ସରଳ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ଏହାର ଦୋଳନର ସ୍ପନ୍ଦନ νର ମୂଲ୍ୟ ହେବ

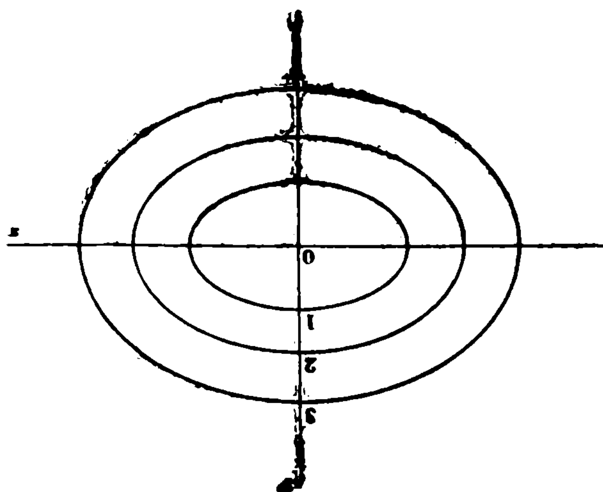
$$\nu = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{b}{m}} \qquad (5\text{·}12)$$

ଏହିପରି ବହୁ ସଂଖ୍ୟକ ଦୋଳକ ତାପୀୟ ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ଥିଲେ ସୂଚନାଟିକୁ ଏକ ଭିନ୍ନ ଆକାରରେ ପ୍ରକାଶ କରିବା ସୁବିଧାଜନକ । ଆମେ x ଓ pକୁ କାର୍ଟେସୀୟ ଅକ୍ଷ ନେଇ ଗୋଟିଏ ଗ୍ରାଫ୍ ଟାଣିବା (ଚିତ୍ର 5.5) । ଏହି ଗ୍ରାଫ୍‌ରେ ପ୍ରତି ଦୋଳକ ଗୋଟିଏ ବିନ୍ଦୁରେ ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ, ଦୋଳକଟି ସ୍ପନ୍ଦିତ ହେବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଏହା ଘୂରୁଥାଏ । ଯେପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଦୋଳକଟି କୌଣସି ବାହ୍ୟ ବଳଦ୍ୱାରା ପ୍ରଭାବିତ ନ ହୋଇଥାଏ, x ଓ p ଏପରି ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୁଏ ଯେ, ଶକ୍ତି ସ୍ଥିର ରହେ । ତେଣୁ ϵ ର ମୂଲ୍ୟ ସ୍ଥିର ରହି ପ୍ରତିନିଧିତ୍ୱ କରୁଥିବା ବିନ୍ଦୁଟି ଗୋଟିଏ ବୃତ୍ତାଭାସରେ (ଏହା ସମୀକରଣ 5·11 ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ) ଗତି କରୁଥାଏ । ϵ ଓ $\epsilon + \Delta\epsilon$ ପରି ଦୁଇଟି ସାମାନ୍ୟ ପ୍ରଭେଦ ଥିବା ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ପାଇଁ ଦୁଇଟି ବୃତ୍ତାଭାସ ନିଆଯାଉ । ଯଦି $\Delta\epsilon$ ଅତି କମ୍ ହୁଏ, ଏହି ବୃତ୍ତାଭାସମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ଉମ୍ବାକାର ବଳୟରେ $e^{-\epsilon/kT}$ ପରିମାଣଟି ପ୍ରଧାନତଃ ଧ୍ରୁବ ରହିବ । ତେଣୁ, ତାପୀୟ ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ଏହି ବଳୟ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ଦୋଳକମାନଙ୍କର ପ୍ରତିନିଧିତ୍ୱକାରୀ ବିନ୍ଦୁମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ସମୀକରଣ (5·13) ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହେବ,

$$\Delta N = N A e^{-\epsilon/kT} \int\int dx dp \qquad (5\text{·}14)$$

$\int\int dx\,dp$ ସମାକଳଟି ଡିମ୍ବାକାର ବଳୟ କ୍ଷେତ୍ରଫଳ । ଏହାର ମୂଲ୍ୟ $\Delta\in$ରେ ସହଜରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରେ । ଆମେ ପ୍ରଥମେ ଲକ୍ଷ୍ୟ କରିବା ଯେ, ଯେଉଁ ବୃତ୍ତାଭାସର ଅର୍ଦ୍ଧଅକ୍ଷଗୁଡ଼ିକ x_m ଓ p_m, ତା'ର କ୍ଷେତ୍ରଫଳ

$$S = \pi p_m x_m \qquad (୫·୧୫)$$



[ଚିତ୍ର ୫·୬ ଗୋଟିଏ ଆବର୍ତ୍ତୀ ଦୋଳକ ପାଇଁ ସଂବେଗ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ସମତଳ]

$\in$ ଶକ୍ତିବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ଦୋଳକର ସ୍ପନ୍ଦନ ସମୟରେ ଯଦି x_m ଓ p_m ଯଥାକ୍ରମେ x ଓ pର ସର୍ବାଧିକ ମୂଲ୍ୟ ହୁଏ, (୫·୧୧)ରେ ପ୍ରଥମେ $x = x_m$ ଓ $p = 0$ ଏବଂ ତାପରେ $x = 0$ ଓ $p = p_m$ ବସାଇ, ଆମେ (୫·୧୨)ରୁ ପାଉ

$$x_m = \sqrt{\frac{2\in}{b}},\; p_m = \sqrt{2m\in}\;;$$

$$S = 2\pi\in\sqrt{\frac{m}{b}} - = \frac{\in}{\nu} \qquad (୫·୧୬)$$

ତେଣୁ $\triangle\in$ ପରିମାଣର ବୃଦ୍ଧି ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ବଳୟ କ୍ଷେତ୍ରଫଳ

$$\int\int dxdp = \triangle s = \triangle\in/\nu \text{ । ତେଣୁ} \quad (୫·୧୪)$$

$$\triangle N = N A_1 e^{\in/kT} \triangle\in \quad (୫·୧୭)$$

ଆକାରରେ ଲେଖାଯାଇ ପାରିବ, ଏଠାରେ $A_1 = A/\nu$ ।

ଦୋଳକମାନଙ୍କର ହାରାହାରି ଶକ୍ତି ସେମାନଙ୍କର ଶକ୍ତିମାନଙ୍କୁ ଗୋଟି ଗୋଟି କରି ଯୋଗ କରି ଓ ଯୋଗଫଳକୁ N ଦ୍ୱାରା ଭାଗ କଲେ ମିଳିପାରିବ । ସାଧାରଣତଃ ଏହା ସମାକଳମାନଙ୍କ ସାହାଯ୍ୟରେ କରାଯାଇଥାଏ । କିନ୍ତୁ ଆମର ବର୍ତ୍ତମାନର ଉଦ୍ଦେଶ୍ୟ ପାଇଁ ଆମେ ବିଚ୍ଛିନ୍ନ ଯୋଗଫଳ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରିବା । ମୂଳବିନ୍ଦୁକୁ କେନ୍ଦ୍ର କରି ଟଣାଯାଇଥିବା ବୃତ୍ତାଭାସଗୁଡ଼ିକ x ସମତଳରେ ଏପରି ଟଣାଯାଉ ଯେପରି କି ତାହା ସମତଳକୁ h କ୍ଷେତ୍ରଫଳବିଶିଷ୍ଟ ସମାନ ସମାନ କ୍ଷେତ୍ରରେ ବିଭକ୍ତ କରିବେ । ଏହାର ସବୁଠାରୁ ଭିତରକୁ ଥିବା ବଳୟଟି ପ୍ରକୃତରେ ଗୋଟିଏ ବୃତ୍ତାଭାସ କ୍ଷେତ୍ର । ସେହିଠାରୁ ଅର୍ଥାତ୍ କେନ୍ଦ୍ରରୁ ବାହାର ଆଡ଼କୁ ଏହି ବଳୟକୁ 0, 1, 2 ···ଭାବରେ ସଂଖ୍ୟା ଦିଆଯାଉ (ଯେପରି ଚିତ୍ର ୫·୫ରେ କରାଯାଇଅଛି) । r ସଂଖ୍ୟକ ବଳୟର ଭିତର ସୀମାରେ ରହିଥିବା ବିନ୍ଦୁଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ଦୋଳକର ଶକ୍ତି

$$\in = S\nu = rh\nu$$

ତେଣୁ ବଳୟରେ ଥିବା N_r ସଂଖ୍ୟକ ଦୋଳକ ସମୀକରଣ (୫·୧୭)ରୁ

$$N_r = N_0 e^{-rh\nu/kT}$$

ଆକାରରେ ଲେଖାଯାଇ ପାରିବ । ଏଠାରେ N_0 ସ୍ଥାନରେ $NA_1\triangle\in$ ରହିଅଛି । ସମସ୍ତ ଦୋଳକଙ୍କର ମୋଟ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ମୋଟାମୋଟି ଭାବରେ

$$E = \sum_{0}^{\infty} rh\nu N_r = N_0 h\nu e^{-h\nu/kT}(1 + 2e^{-h\nu/kT} + 3e^{-2h\nu/kT} + \cdots)$$

$$= N_0 h\nu e^{-h\nu/kT}(1 - e^{-h\nu/kT})^{-2}$$

ଯେହେତୁ ଦ୍ୱିପଦ ପ୍ରମେୟ ଦ୍ୱାରା ଶେଷ ଶ୍ରେଣୀଟିର ଆକାର

$$1+2x+3x^2+\cdots\cdots\cdots=(1-x)^{-2} \text{ ହୋଇଥାଏ ।}$$

ସେହିପରି ଆମେ ପାଇ ପାରିବା

$$N=\Sigma N_r=N_0\,(1+e^{-h\nu/kT}+\cdots)=N_0\,(1-e^{-h\nu/kT})^{-1}$$

ତେଣୁ ଶେଷରେ ପ୍ରତି ଦୋଳକର ହାରାହାରି ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ରୂପେ ଆମେ ପାଉ

$$\overline{\epsilon}=\frac{E}{N}=\frac{h\nu}{e^{h\nu/kT}-1} \qquad (୫.୧୮)$$

ଯଦି କୌଣସି ସମୟ ପରିମାଣକୁ ଅତି କମ୍ ବୋଲି ନିଆ ନଯାଏ, ତେବେ ସେହି ସମୟ ମଧ୍ୟରେ କୌଣସି ଦୋଳକର ହାରାହାରି ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ଏହି ରାଶି ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହେବ । ଦୋଳକଗୁଡ଼ିକ ଏକାପରି ହୋଇଥିବାରୁ ଶେଷରେ ସେମାନଙ୍କର ମୋଟାମୋଟି ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ଏକା ହେବ ଏବଂ ଏହି ହାରାହାରି ପରିମାଣ ନିଶ୍ଚୟ E/N ହେବ ।

ପୁରାତନ ତତ୍ତ୍ୱରେ ବର୍ତ୍ତମାନ $h \to 0$ ନେବା ଦରକାର । ସେତେବେଳେ ଏହି approximation ହେବ । $e^x=1+x+x^2/2+\cdots\cdots$ ଶ୍ରେଣୀଟିକୁ ବ୍ୟବହାର କରି hର ପ୍ରଥମ କୋଟୀରେ ଆମେ ପାଉ ଯେ

$$e^{h\nu/kT}-1=h\nu/kT$$

ତେଣୁ, $h \to 0$ ସୀମାରେ $\epsilon=kT$ । ଗୋଟିଏ ଆବର୍ତ୍ତୀ ଦୋଳକର ହାରାହାରି ଶକ୍ତି ପାଇଁ ଅନୁ ୫.୪ରେ ଶକ୍ତିର ସମବଣ୍ଟନ ନିୟମ ନେଇ ଯେଉଁ ମୂଲ୍ୟ ନିରୂପିତ ହୋଇଥିଲା, ଏହା ସେହି ମୂଲ୍ୟ । ଏଥିରୁ ଠିକ୍ ହେଉଥିବା ରଲେ-ଜନ୍‌ସ ସୂତ୍ର ମିଳିଥିଲା ।

5·7 ପ୍ଲାଙ୍କଙ୍କର କ୍ୱାଣ୍ଟମ୍ ଅନୁମାନ :

ପ୍ଲାଙ୍କ ଦେଇଥିବା ଅନୁମାନଟି ପୂର୍ବ ସୂତ୍ରରେ hକୁ ସୀମିତ କରି ରଖିବା ସହ ମେଳ ଖାଉଛି । ନୂତନ ତତ୍ତ୍ୱର ପ୍ରଥମ ରୂପାୟନରେ ପ୍ଲାଙ୍କ ଅନୁମାନ କରିଥିଲେ

ଯେ କୌଣସି ଦତ୍ତ ବଳୟ ସହିତ ସଂଯୁକ୍ତ ଦୋଳକଗୁଡ଼ିକ ସେହି ବଳୟ ଭିତର ସୀମାର ପ୍ରକୃତ ଶକ୍ତି ହେବ । ତେଣୁ ϵ ପାଇଁ ସମୀକରଣ (୬'୧୮) ଠିକ୍ ଭାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହେବ । ଏହି ଅନୁମାନ ଅନୁସାରେ ଗୋଟିଏ ଦୋଳକର ଶକ୍ତି ଅବଚ୍ଛିନ୍ନ ଭାବରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇପାରିବ ନାହିଁ; କିନ୍ତୁ 0, hv, $2hv$ .....rhv...ପରି ଗୋଟିଏ ଶ୍ରେଣୀରୁ କୌଣସି ଗୋଟିଏ ମୂଲ୍ୟ ଗ୍ରହଣ କରିବ । ପ୍ଲାଙ୍କଙ୍କ ଅନୁମାନର ପ୍ରକୃତ ପ୍ରଥମ ରୂପ ହେଲା, ଗୋଟିଏ ଦୋଳକର ଶକ୍ତି ସର୍ବଦା ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରିମାଣ ϵ_0ର କୌଣସି ଗୁଣିତକ ହେବ କିନ୍ତୁ ସେ ସେତେବେଳେ ଦେଖାଇଲେ ଯେ, ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ଆବୃତ୍ତିର ଦୋଳକମାନଙ୍କ ପାଇଁ ϵ_0 ନିଶ୍ଚୟ vକୁ ଅନୁପାତୀ ହେବ । ବିକିରଣ ନିୟମ ଭିନଙ୍କ ବିସ୍ଥାପନ ନିୟମ ମେଳ ଖାଇବାପାଇଁ ଏହା ଦରକାର । ତେଣୁ ସେ ଅନୁମାନ କଲେ ଯେ $\epsilon_0 = hv$, ଏଠାରେ h ହେଲା ଗୋଟିଏ ଅନୁପାତୀୟ ଧ୍ରୁବ । h ଓ ଦୋଳକର xp ସମତଳର କ୍ଷେତ୍ରଫଳମାନଙ୍କ (ଆଗରୁ ଯାହା ବର୍ଣ୍ଣନା କରାଯାଇଅଛି) ମଧ୍ୟରେ ସମ୍ବନ୍ଧ ପରେ ପ୍ଲାଙ୍କ ଜାଣିପାରିଥିଲେ ।

ଏହା ସ୍ପଷ୍ଟ କରିଦେବାକୁ ହେବ ଯେ, ଗୋଟିଏ ଦୋଳକର ସାମ୍ଭବ୍ୟ ଶକ୍ତି ମୂଲ୍ୟମାନଙ୍କ ପାଇଁ ବା ଶକ୍ତିସ୍ତରମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ବିଚ୍ଛିନ୍ନ ଶ୍ରେଣୀ ଅନୁମାନ କରିବା ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଭାବରେ ପୁରାତନ ଧାରଣାମାନଙ୍କଠାରୁ ଭିନ୍ନ । ଏହି ଅନୁମାନ ଅନୁସାରେ, ଯଦି ବହୁ ସଂଖ୍ୟକ ଦୋଳକଙ୍କର ଶକ୍ତିମାନ କରାଯାଏ; କେତେକଙ୍କର ଶକ୍ତି ଶୂନ୍ୟ, କେତେକଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ପ୍ରତ୍ୟେକର hv, ଅନ୍ୟମାନଙ୍କର $2hv$ ଇତ୍ୟାଦି ହେବ । କିନ୍ତୁ ଗୋଟିଏ ବି ଦୋଳକ ମିଳିବନାହିଁ, ଯାହାର ଶକ୍ତି, କହି $1{\cdot}73hv$, ହେବ । ତେଣୁ, ଯେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ ଦତ୍ତ ଦୋଳକର ଶକ୍ତି ବଦଳିବ, ଏହା ହଠାତ୍ ଓ ବିଚ୍ଛିନ୍ନ ଭାବରେ ହେବ । ପୁରାତନ ଧାରଣା ଅନୁସାରେ, ଦୁଇଟି ସଂସ୍ଥା ମଧ୍ୟରେ ଶକ୍ତି ବିନିମୟ, ଯଥା ଦୁଇଟି ଗ୍ୟାସ ଅଣୁ ମଧ୍ୟରେ ବା ବିକିରଣ ଓ ଦୋଳକମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ, ଗୋଟିଏ ଅବଚ୍ଛିନ୍ନ ପ୍ରଣାଳୀ, ତେଣୁ ଗୋଟିଏ ଦୋଳକର ଶକ୍ତି ଅବଚ୍ଛିନ୍ନ ଭାବରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇ ପାରିବ । ଶକ୍ତିର ମୂଲ୍ୟମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଏହିପରି ଅବଚ୍ଛିନ୍ନତା ପୁରାତନ ଭୌତିକୀର ଦାବି । ଉଦାହରଣ-ସ୍ୱରୂପ, ଗୋଟିଏ ଆଲୋକ ତରଙ୍ଗରେ ବିଦ୍ୟୁତ ଓ ଚୁମ୍ବକ ଭେକ୍ଟରଗୁଡ଼ିକ ଯେକୌଣସି ମୂଲ୍ୟ ଲାଭ କରି ପାରନ୍ତି, ଶୂନ୍ୟଠାରୁ ଉପରକୁ ଏବଂ ସେହିପରି, ତରଙ୍ଗର ଯେକୌଣସି ତୀବ୍ରତା ହୋଇପାରେ, ଶୂନ୍ୟଠାରୁ ଉପରକୁ । ସେହିପରି ଗୋଟିଏ ଗହ୍ୱରର କାନ୍ଥମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା

ଏହି ଶକ୍ତିର ଶୋଷଣ ଓ ନିଷ୍କାସନ ଅତି ଉତ୍ତମ ଭାବରେ ଗୋଟିଏ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ପ୍ରଣାଳୀ ହେବ ।

ନୂତନ ତତ୍ତ୍ୱ ପାଇଁ ବିକିରଣର ଶୋଷଣ ଓ ନିଷ୍କାସନ ଅତ୍ୟନ୍ତ ଜଟିଳ ସମସ୍ୟା ସୃଷ୍ଟି କଲା । ଯଦି ଗୋଟିଏ ଦୋଳକର ଶକ୍ତି କେବଳ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ଭାବରେ ବଦଳିପାରିବ, ବିକିରଣର ଶୋଷଣ ଓ ନିଷ୍କାସନ ନିଶ୍ଚୟ ଗୋଟିଏ ବିଚ୍ଛିନ୍ନ ପ୍ରଣାଳୀ ହେବ । ଯେପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଦୋଳକଟି ଏହାର ଗୋଟିଏ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାରେ ରହିଥାଏ, (ଆମେ ତାକୁ ବର୍ତ୍ତମାନ ଏପରି ନାମିତ କରୁଛୁ) ଏହାର ଶକ୍ତି ବିଚ୍ଛିନ୍ନ ବିଭିନ୍ନ ମୂଲ୍ୟରୁ ଗୋଟିକରେ ରହିଥାଏ, ପୁରାତନ ଭୌତିକୀ ଅନୁସାରେ ଏହା ବିକିରଣ ନିଷ୍କାସନ ବା ଶୋଷଣ କରିପାରିବନାହିଁ । କାରଣ ତେବେ ଶକ୍ତି ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମର ବ୍ୟତିକ୍ରମ ହେବ । ପୁରାତନ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ତତ୍ତ୍ୱର ଏହା ବିରୁଦ୍ଧାଚରଣ, ଏହି ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ଗୋଟିଏ ଏକାକୀ ରହିଥିବା ତ୍ୱରାନ୍ୱିତ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ଭାର ଶକ୍ତି ବିକିରଣ କରିବ ।

ପ୍ଲାଙ୍କଙ୍କର ନୂତନ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ, ବିକିରଣର ନିଷ୍କାସନ ହେବ କେବଳ ଯେତେବେଳେ ଦୋଳକଟି ଗୋଟିଏ ଶକ୍ତିସ୍ତରରୁ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ଶକ୍ତିସ୍ତରକୁ ଡେଇଁଯିବ । ଯଦି ଏହା ଠିକ୍ ନିମ୍ନସ୍ଥ ପରଶକ୍ତିସ୍ତରଗୁଡ଼ିକୁ ଡେଇଁପଡ଼ିବ, ତେବେ $h\nu$ ପରିମାଣରେ ଶକ୍ତି ହରାଇବ; ଏହା ଗୋଟିଏ ଛୋଟ ବିକିରଣ ସ୍ଫୁଲିଙ୍ଗ ଆକାରରେ ନିଷ୍କାସିତ ହୋଇଯିବ । ଶୋଷଣ ପ୍ରଥମେ ବିଚ୍ଛିନ୍ନ ବୋଲି ଅନୁମିତ ହୋଇଥିଲା । ପ୍ଲାଙ୍କ ଅନୁମାନ କଲେ, ଗୋଟିଏ ଦୋଳକ $h\nu$ ପରିମାଣର ଗୋଟିଏ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଶକ୍ତି ଶୋଷଣ କରି ତା'ର ପର ଉଚ୍ଚତର ଶକ୍ତିସ୍ତରକୁ ନେଇଯିବ । କିନ୍ତୁ ଏହି ଅନୁମାନକୁ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଧରଣର ଅସୁବିଧା ସବୁର ସମ୍ମୁଖୀନ ହେବାକୁ ପଡିଲା । ପୁରାତନ ତରଙ୍ଗବାଦ ଅନୁସାରେ ଗୋଟିଏ ଦୋଳକ ଦ୍ୱାରା ବିକିରିତ ଶକ୍ତିର କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଗୋଟିଏ ସର୍ବଦା ପ୍ରସାରଣଶୀଳ ତରଙ୍ଗମୁଖରେ ଖେଳେଇ ହୋଇଯିବ ଏବଂ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ଦୋଳକ ଏ ସମସ୍ତ ଶକ୍ତିକୁ ପୁଣି ଥରେ ଠୁଳ କରି ଶୋଷଣ କରିବା କିପରି ସମ୍ଭବ ହେବ ଓ ତାଦ୍ୱାରା ଶକ୍ତି ଲାଭ କରି ଉପରକୁ ଡେଇଁ ପଡ଼ିବ ଏହା ବୁଝିବା କଷ୍ଟକର । ତେଣୁ ପ୍ଲାଙ୍କଙ୍କ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ଶୋଷଣ ଅସମ୍ଭବ କଥା ।

ଏହି ଅସୁବିଧା ଦୂର କରିବାପାଇଁ ପ୍ଲାଙ୍କ ପରେ ତାଙ୍କର ତତ୍ତ୍ୱକୁ ପରିବର୍ତ୍ତିତ କରି ଦୋଳକଗୁଡ଼ିକ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ଭାବରେ ଶୋଷଣ କରିବା ପନ୍ଥା ଗ୍ରହଣ କଲେ, କେବଳ ନିଷ୍କାସନ ପ୍ରଣାଳୀଟି ବିଚ୍ଛିନ୍ନ ଭାବରେ ହେଲା । ପୁରାତନ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ହେବା ପରି, ଗୋଟିଏ ଦୋଳକର ଶକ୍ତି ଯେ କୌଣସି ମୂଲ୍ୟ ନେଇ ପାରିଲା; କିନ୍ତୁ ଯେତେଥର ଏହି ଗୋଟିଏ ସଙ୍କଟ ମୂଲ୍ୟ, $rh\nu$ ଡେଇଁଗଲା, ସେତେବେଳେ ଅଧିକା ଶକ୍ତି ପରିମାଣକୁ ଗୋଟିଏ କ୍ୱାଣ୍ଟମ୍ ଆକାରରେ ବିକିରଣ କରି ନିମ୍ନତର ଶକ୍ତିସ୍ତରକୁ ଡେଇଁଯିବାର ସମ୍ଭାବନା ରହିଲା । ଏହାକୁ ପ୍ଲାଙ୍କଙ୍କର କ୍ୱାଣ୍ଟମ ତତ୍ତ୍ୱର ଦ୍ୱିତୀୟ ଆକାର ବୋଲି କୁହାଗଲା । ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇପାରିବ ଯେ ତତ୍ତ୍ୱର ଏହି ଆକାରରେ ଦୋଳକଗୁଡ଼ିକ ସମସ୍ତେ ବଳୟଗୁଡ଼ିକର ଭିତର ସୀମାରେ ନରହି px ସମତଳରେ ବଳୟ ମଧ୍ୟରେ ସମଭାବରେ ବାଣ୍ଟି ହୋଇଯିବେ । ସମୀକରଣ (୫.୧୮) ସେମାନଙ୍କର ହାରାହାରି ମୂଲ୍ୟ ନନେଇ ସେଗୁଡ଼ିକର ହାରାହାରି ମୂଲ୍ୟ ହେବ,

$$\bar{E} = \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT}-1} + \frac{1}{2}h\nu \qquad (୫.୧୯)$$

ଏପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ପଢ଼ିବା ପରେ ହୁଏତ ଛାତ୍ରମାନଙ୍କର ମନରେ ସନ୍ଦେହ ଉପୁଜିବ— ପ୍ଲାଙ୍କଙ୍କର ମୂଳ ଅନୁମାନଗୁଡ଼ିକ କ'ଣ ! ୧୯୧୧ ମସିହାବେଳକୁ ଅଧିକାଂଶ ଭୌତିକ ବିଜ୍ଞାନବିତ୍ଙ୍କ ମନରେ ଯେଉଁ ସନ୍ଦେହ ଉପୁଜିଥିଲା, ଏପରି ସନ୍ଦେହ ତା'ଠାରୁ କୌଣସି ଗୁଣରେ ଖରାପ ଅବସ୍ଥା ନୁହେଁ । ଏ ଅବସ୍ଥା ଆହୁରି ଜଟିଳ ହୋଇଗଲା ଆଇନଷ୍ଟାଇନଙ୍କର ଫଟୋ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ପ୍ରଭାବର (ଅନୁ: ୬୭) ସଫଳତା ଫଳରେ; କାରଣ ଆଇନଷ୍ଟାଇନ ଅନୁମାନ କଲେ ବିକିରଣ କେବଳ କ୍ୱାଣ୍ଟମାକାରରେ ଗୋଟି ଗୋଟି ହୋଇ ନିଷ୍କାସିତ ହୁଏନାହିଁ ଯେ, ତରଙ୍ଗବାଦର ବିରୁଦ୍ଧା କରି ଏହା ସ୍ଥାନରେ ଗତି କଲାବେଳେ ପୁଞ୍ଜୀଭୂତ ହୋଇ ରହିଥାଏ । ଯେତେବେଳେ ଭୌତିକ ବିଜ୍ଞାନରେ ପ୍ରଧାନ ପ୍ରଧାନ ଅଗ୍ରଗତି ଘଟେ ସେତେବେଳେ ଏପରି ଦ୍ୱିଧାତ୍ମକ ଅବସ୍ଥା ଉପୁଜିଥାଏ, ପରେ ଲକ୍ଷ୍ୟସ୍ଥଳରେ ସିଧାସଳଖ ପହଞ୍ଚିବାପାଇଁ ସ୍ପଷ୍ଟ ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ବାଟ ମିଳିଯାଇଥାଏ ।

ଏ ପୁସ୍ତକର ଗୋଟିଏ ଉଦ୍ଦେଶ୍ୟ ହେବ, ଏ ତତ୍ତ୍ୱ କିପରି କ୍ରମେ ସ୍ପଷ୍ଟ ହୋଇ ଉଠିଲା, ତାହା ଦେଖାଇବା । ଦେଖାଯିବ ଯେ, ନିମ୍ନବତ୍ ପ୍ଲାଙ୍କଙ୍କର ଧାରଣା 'ଦୁଇଟି

ସ୍ଥାୟୀଭାବରେ ଗୃହୀତ ହୋଇଅଛି ଓ ଆଧୁନିକ ତରଙ୍ଗ ଯାନ୍ତ୍ରୀର ଅଂଶ ବିଶେଷରୂପେ ପରିଗଣିତ ହେଉଅଛି ।

୧ । ଗୋଟିଏ ଦୋଳକ ବା ସେହିପରି କୌଣସି ଭୌତିକ ସଂସ୍ଥାର ସାମ୍ଭାବ୍ୟ ଶକ୍ତିର ମୂଲ୍ୟଗୁଡ଼ିକ ବା ଶକ୍ତି ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକର ମୂଲ୍ୟ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ବିଚ୍ଛିନ୍ନ ସେଟ୍ ହେବ ଏହି ଗ୍ରହଣୀୟ ମୂଲ୍ୟଗୁଡ଼ିକର ଅନ୍ତର୍ଗତ କୌଣସି ମୂଲ୍ୟ ଶକ୍ତି କେବେ ନିଏନାହିଁ ।

୨ । ବିକିରଣର ନିଷ୍କାସନ ଓ ଶୋଷଣ ଏହି ସ୍ତରମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସଂକ୍ରମଣ ବା ଡିଆଁ ସହିତ ସଂଯୁକ୍ତ, ଏହାଦ୍ୱାରା ଦୋଳକର ଶକ୍ତି ପରିମାଣର ବୃଦ୍ଧି ବା ହ୍ରାସ ସହିତ $h\nu$ ପରିମାଣର ବିକିରଣର ଶୋଷଣ ବା ନିଷ୍କାସନ ଯଥାକ୍ରମେ ସଂଯୁକ୍ତ ହୋଇଥାଏ । ଏଠାରେ ν ବିକିରଣର ସ୍ପନ୍ଦନ ବୁଝାଇଥାଏ ।

ଯେତେବେଳେ ତରଙ୍ଗ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀର ତତ୍ତ୍ୱକୁ ନିଜେ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରକୁ ପ୍ରୟୋଗ କରାଗଲା, ସେତେବେଳେ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ତରଙ୍ଗଗୁଡ଼ିକର ଅସୁବିଧା ସବୁ ଦୂର ହୋଇଗଲା ।

ସ୍ପଷ୍ଟ ଜାଣି ରଖିବା ଦରକାର ଯେ ପ୍ଲାଙ୍କଙ୍କର ଯୁଗାନ୍ତକାରୀ ଅନୁମାନଗୁଡ଼ିକ ପୁରାତନ ଭୌତିକୀର ସାଧାରଣ ଚିନ୍ତାଧାରାର ଏକ ପ୍ରସାରଣ ନୁହେଁ । ବିପରୀତ ପକ୍ଷରେ, ଏଗୁଡ଼ିକ ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ଫଳଗୁଡ଼ିକୁ ତାତ୍ତ୍ୱିକ ବିଷୟର ସହିତ ମେଳ କରିବାପାଇଁ ସେଗୁଡ଼ିକର ଗୋଟିଏ ଅନୁକୂଳତାସିଦ୍ଧ ପରିବର୍ତ୍ତନ । ଗୋଟିଏ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ $h\nu$ ନହୋଇ ସ୍ପନ୍ଦନର ଅନିର୍ଭରଶୀଳ ଆଉ କିଛି ହୋଇଥାନ୍ତା, ନୂତନ ତତ୍ତ୍ୱଟି ଶକ୍ତିର ସରଳ କଣିକାର ଆକାର ଦେଇଥାନ୍ତା, ଠିକ୍ ଯେପରି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଚାର୍ଜ ବିଦ୍ୟୁତର କଣିକା ବୁଝାଇଥାଏ । କିନ୍ତୁ ଘଟଣାଟି ତାହା ନୁହେଁ ‘ବରଂ’ ନୂତନ ଧ୍ରୁବ hଟି କ୍ୱାଣ୍ଟମ୍ ତତ୍ତ୍ୱର ପଦାର୍ଥ ବିଜ୍ଞାନକୁ ନୂତନ ଅବଦାନ । ଆମେ ଦେଖିବା ଯେ ପାରମାଣିକ ଜଗତର ବହୁ ଘଟଣାରେ h ପ୍ରଧାନ ଅଂଶ ଗ୍ରହଣ କରିଥାଏ ।

5.8 ପ୍ଲାଙ୍କଙ୍କର ବିକିରଣ ନିୟମ :

ଗୋଟିଏ ସମତାପମାତ୍ରାରେ ଥିବା ଗହ୍ୱର ମଧ୍ୟସ୍ଥ ବିକିରଣ ଓ ସେ ଅନୁମାନ କରିଥିବା ଗହ୍ୱରର କାନ୍ଥରେ ଥିବା ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଦୋଳକମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ପାରସ୍ପରିକ

ବିସ୍ତାର ବସ୍ତୁରରୁ ପ୍ଲାଙ୍କ ତାଙ୍କର ନୂତନ ବିକିରଣ ସୂତ୍ର ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ କରିଥିଲେ । ଗୋଟିଏ ଦୋଳକର ହାରାହାରି ଶକ୍ତି ପାଇଁ ପ୍ଲାଙ୍କଙ୍କର ନୂତନ ଉକ୍ତି ସହିତ ରାଲେ ଓ ଜିନ୍‌ସଙ୍କର ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରର ବିଶ୍ଳେଷଣକୁ ଯୋଗ କରିବା ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣମାଣରେ ସନ୍ତୋଷଜନକ, ଅଥଚ ଅଧିକ ସରଳ ପ୍ରଣାଳୀ ହେବ । ରାଲେ ଓ ଜିନ୍‌ସଙ୍କ ପ୍ରଣାଳୀରେ କ୍ଷେତ୍ରର ଗହ୍ୱରରେ ବିଭିନ୍ନ ସାଡରେ ଦୋଳକକୁ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ଦୋଳକ ଭାବରେ ନିଆଯାଇଥାଏ । ଅନୁ: (୫·୩)ରେ ସମୀକରଣ (୫·୪)ରେ ଆମେ ଦେଖିଥାଉଁ ଯେ, ଏକ ଘନ ଏକକରେ λରୁ $\lambda+d\lambda$ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ପରିସର ମଧ୍ୟରେ $8\pi d\lambda/\lambda^4$ ସଂଖ୍ୟକ ଦୋଳନସାଡ ମୁକ୍ତମାତ୍ରା ରହିଅଛି । ଆମେ ଏହି ସଂଖ୍ୟାକୁ $\overline{\in}$ ଦ୍ୱାରା ଗୁଣନ କଲେ [ଯେପରି ସମୀକରଣ (୫·୧୮)ରେ କରାଯାଇଅଛି], ପାଇବା

$$U_\lambda\, d\lambda = 8\frac{d\lambda}{\lambda^4}\quad \frac{h\nu_\circ}{c^{-h\nu/kT}-1}$$

ଏଠାରେ $\nu=c/\lambda$ ବସାଅ । c ଶବ୍ଦ ସ୍ଥାନରେ ଆଲୋକର ଗତିବେଗ ବୁଝାଉଅଛି । ଏହାକଲେ ପ୍ଲାଙ୍କଙ୍କର ନୂଆ ବିକିରଣ ନିୟମ ଆମେ ପାଇବା,

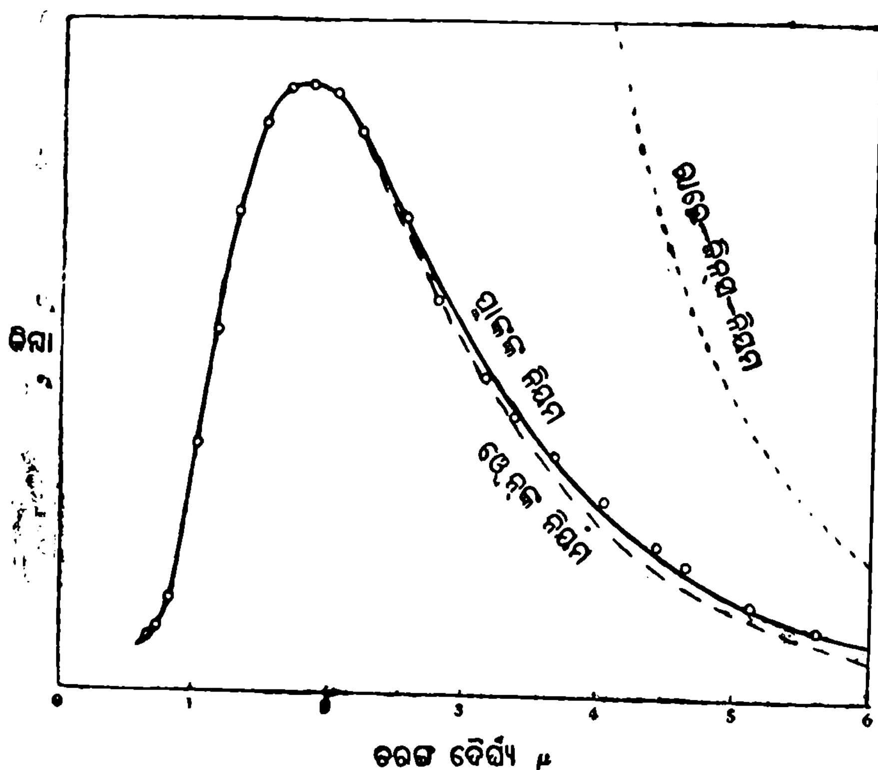
$$U_\lambda = \frac{8\pi ch}{\lambda^5}\quad \frac{1}{c^{ch/kT\lambda}-1} \qquad (୫·୨୦)$$

[ଠିକ୍ ଭାବରେ କହିଲେ, ସମୀକରଣ (୫·୧୪) ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ $\overline{\in}$ ର ମୂଲ୍ୟ ଆମେ ବ୍ୟବହାର କରିବା ଉଚିତ, କାରଣ ଏହା ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକୀରୁ ମିଳୁଥିବା ମୂଲ୍ୟ ସହିତ ସମାନ । ଏପରି ପରିବର୍ତ୍ତନ କଲେ U_λ ସହିତ ଯେଉଁ ପଦଟି ଯୋଗ ହେବ, ତାହା ତାପମାତ୍ରା ଉପରେ ନିର୍ଭରଶୀଳ ନୁହେ । ଯେହେତୁ କେବଳ Uରେ ପରିବର୍ତ୍ତନହିଁ ଜାଣି ହେବ, ଏହି ପଦଟିରେ କୌଣସି ପ୍ରକୃତ ପ୍ରଭାବ ନାହିଁ] ।

ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମର ଗୋଟିଏ ପ୍ରାନ୍ତରେ ପ୍ଲାଙ୍କଙ୍କ ସୂତ୍ର ୱାଇନଙ୍କ ସୂତ୍ରରେ ପରିଣତ ହୋଇଯାଏ ଓ ଅନ୍ୟ ପ୍ରାନ୍ତରେ ରାଲେ-ଜିନ୍‌ସଙ୍କ ସୂତ୍ରରେ ପରିଣତ ହୋଇଯାଏ । ଚିତ୍ର ୫·୭ରେ ପରୀକ୍ଷା-ଲବ୍ଧ ଫଳ ସହିତ କେତେକ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ-ଶକ୍ତି ବଣ୍ଟନ ସୂତ୍ରର ତୁଳନା କରାଯାଇଅଛି । କବ୍‌ଲେଞ୍ଜ 1600°k ଠାରେ ଲକ୍ଷ୍ୟ କରିଥିବା କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁର ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମରେ ଶକ୍ତିର ବଣ୍ଟନ ବୃତ୍ତଦ୍ୱାରା ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ପ୍ଲାଙ୍କଙ୍କ ସୂତ୍ରକୁ

ମିଳୁଥିବା ରେଖା ଯେ ରାଲେ-ଜିନ୍‌ସଙ୍କ ସୂତ୍ରରୁ ମିଳୁଥିବା ରେଖାର ତଳକୁ ରହୁଅଛି, ତା'ର କାରଣ ପୁରାତନ ଶକ୍ତିର ସମବଣ୍ଟନ ନିୟମର ବିଫଳତା । ଗହ୍ୱର ମଧ୍ୟରେ ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରର ଉଚ୍ଚସ୍ପନ୍ଦନ ସ୍ୱରର କମ୍ପନଗୁଡ଼ିକରେ ପୁରାତନ ନିୟମ ଅନୁସାରେ ହାରାହାରି kT ଶକ୍ତି ରହିବା କଥା । ସେଗୁଡ଼ିକ ନିମ୍ନତମ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାରେ ରହି ଯାଉଛନ୍ତି ଏବଂ ସେହି କାରଣରୁ ବିକିରଣ ଶକ୍ତିର ସାନ୍ଦ୍ରତାର ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ମୂଲ୍ୟକୁ ଅଳ୍ପ ଅବଦାନ ଦେଉଅଛନ୍ତି ।

ତାପଗତିକୀ ଦ୍ୱାରା ଯେଉଁ ଆକାର (ଅନୁ: ୫.୨) ଦରକାର ଥିଲା ବୋଲି ଆମେ ଦେଖିଥାଇଁ, ପ୍ଲାଙ୍କଙ୍କ ସୂତ୍ରରୁ ସେହି ଆକାର ମିଳୁଅଛି କାରଣ ପ୍ଲାଙ୍କଙ୍କ ସୂତ୍ର



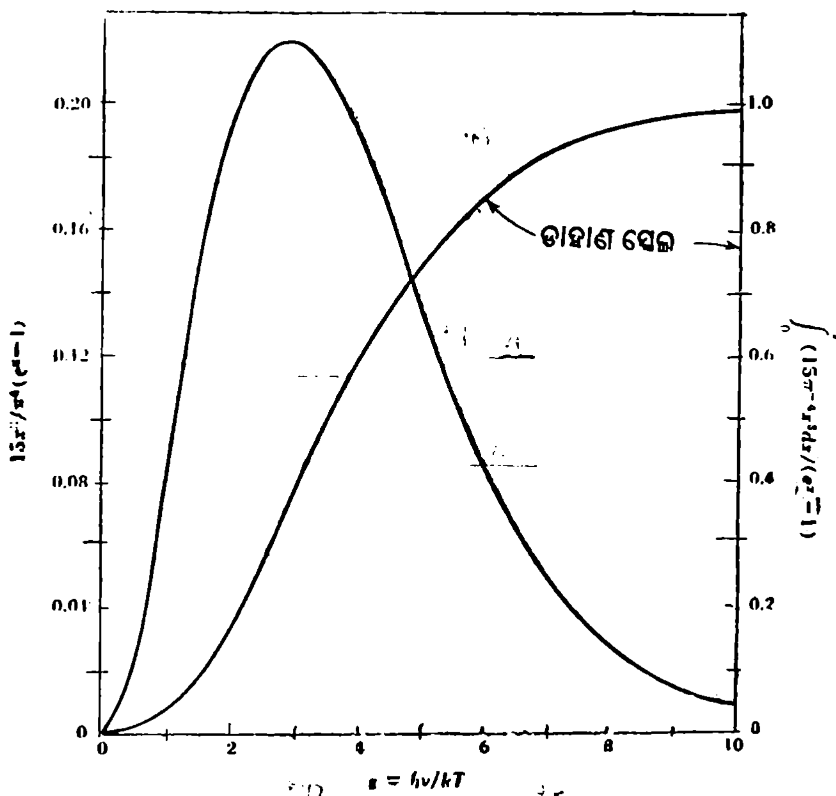
[ଚିତ୍ର ୫.୭ 1600°k ଠାରେ ପରୀକ୍ଷା ସହିତ ତିନି ବିକିରଣ ନିୟମର ତୁଳନା]

$$U_\lambda = T^5 f(\lambda T)$$

$$f(\lambda T) = \frac{8\pi ch}{(\lambda T)^5} \quad \frac{1}{e^{ch/k(\lambda T)} - 1} \qquad (୫·୨୦କ)$$

ଭାବରେ ଲେଖାଯାଇପାରେ । ଏହି ଆକାରରେ ଲେଖିଲେ ଏଥିରୁ ଗାଣିତିକ ବିସ୍ତର ଅନୁସାରେ ଷ୍ଟିଫେନ୍ସ-ବୋଲ୍ଜମାନ ସୂତ୍ର ଓ ୱାଇନ୍ଙ୍କ ବିସ୍ଥାପନ ନିୟମ ବାହାରି ପାରିବ ।

$h = 6.6256 \times 10^{-34}$ J-s



[ଚିତ୍ର ୫·୭ U କୁ ଏକ କରିବାପାଇଁ ନର୍ମାଲାଇଜ କରି କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁ ବିକିରଣର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ-ବଣ୍ଟନ U_ν (ବାମସ୍କେଲ) ଓ ଯେଉଁ ଭଗ୍ନାଂଶ ଶକ୍ତିର $x(=h\nu/kT)$ ଆନୁଭୂମିକ ଅକ୍ଷରେ ଦିଆଯିବା ମୂଲ୍ୟଠାରୁ କମ (ଡାହାଣ ସ୍କେଲ)]

ନୂତନ ଧ୍ରୁବ hର ମୂଲ୍ୟ U_λର ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ଫଳ ସହିତ ସୂତ୍ରର ତୁଳନା କରି ବାହାର କରାଯାଇପାରିବ, କାରଣ U_λରେ ଅନ୍ୟ ସବୁ ରାଶିଗୁଡ଼ିକର ମୂଲ୍ୟ ଜଣାଅଛି । ପ୍ଲାଙ୍କ (୧୯୦୧) ତାଙ୍କର ମୂଳ ନିବନ୍ଧରେ ଏହିପରି $h = 6{\cdot}55 \times 10^{-34}$ ମୂଲ୍ୟ ନିରୂପଣ କରିଥିଲେ । କିନ୍ତୁ ତାପୀୟ ପରୀକ୍ଷାଫଳର ସୂକ୍ଷ୍ମତା ତୁଳନାତ୍ମକ ଭାବରେ ଦେଖିଲେ ନିକୃଷ୍ଟ । ଉତ୍ତମ ଉପାୟରେ ମିଳୁଥିବା ମୂଲ୍ୟ ହେଲା,

$$h = 6{\cdot}6256 \times 10^{-34} \text{ j-s}$$

ପ୍ଲାଙ୍କଙ୍କ ନିୟମକୁ λରେ ନ ଲେଖି, ସ୍ପନ୍ଦନ ଆକାରରେ ଲେଖିବା ଅନେକ ସମୟରେ ଉଚିତ ବୋଲି ମନେ ହୋଇଥାଏ । ଏତେବେଳେ ν ଓ $\nu + d\nu$ ସ୍ପନ୍ଦନ ପରିସର ମଧ୍ୟରେ ଶକ୍ତି ସାନ୍ଦ୍ରତା U_ν ହେଲା,

$$U_\nu\, d\nu = \frac{8\pi h \nu^3 d\nu}{c^3\,(e^{h\nu/kT} - 1)} \qquad (୫{\cdot}୨୧)$$

ମୋଟ ଶକ୍ତି ସାନ୍ଦ୍ରତା U ହେଲା

$$U = \int_0^\infty U_\lambda\, d\lambda = \frac{8\pi k^4 T^4}{c^3 h^3} \int_0^\infty \frac{x^3 dx}{e^x - 1}$$

$$= \frac{8\pi^5 k^4 T^4}{15 c^3 h^3} \qquad (୫{\cdot}୨୨)$$

ଏଠାରେ $x = ch/\lambda kT$ ଏବଂ ସମାକଳର ମୂଲ୍ୟ $\pi^4/15$ । ଚିତ୍ର ୫·୭ରେ ଗୋଟିଏ କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁର ନର୍ମାଲାଇଜ ହୋଇଥିବା ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ବଣ୍ଟନ ସହିତ x ଠାରେ ଗୋଟିଏ ଦିଆଯାଇଥିବା ମୂଲ୍ୟଠାରୁ କମ୍ ମୂଲ୍ୟର କେତେ ଶକ୍ତି ବିକିରିତ ହେଉଛି ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି ।

ଅନୁ (୫କ·୧)ର ସମୀକରଣ (୫କ·୪) ଓ (୫କ·୫)ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି ଯେ, ଏକକ କ୍ଷେତ୍ରଫଳ ଦେଇ ବିକିରିତ ହେଉଥିବା ପାଓ୍ୱାର, ମୋଟ ପରିମାଣ, ବା କୌଣସି ଦଉ λ ବା ν ପରିସର ମଧ୍ୟରେ, ମୋଟାମୋଟି ଶକ୍ତି ସାନ୍ଦ୍ରତାର ଠିକ୍ $c/4$ ଗୁଣ । ତେଣୁ ଏକକ କ୍ଷେତ୍ରଫଳ ଦେଇ ବିକିରିତ ହେଉଥିବା ପାଓ୍ୱାର ହେଲା $R_B = \frac{cU}{4}$

ଏବଂ ସମୀକରଣ (୫·୯)ରେ ଦିଆଥିବା ସ୍ଥିରାଙ୍କଗୁଡ଼ିକ ଧ୍ରୁବକ π, k, c ଓ h ସାହାଯ୍ୟରେ ପ୍ରକାଶ କରି ପାରିଥାନ୍ତି ।

ପରିଶିଷ୍ଟ—୫କ

ପୁରାତନ ବିକିରଣ ତତ୍ତ୍ୱ

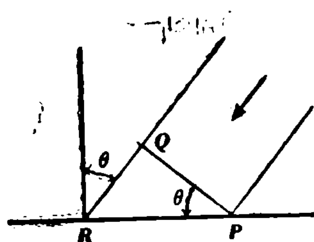
5-କ·1 ସମାଙ୍ଗୀ ବିକିରଣ ଫଳରେ ଚାପ ଓ ଶକ୍ତିର ଫ୍ଲକ୍ସ :

ମନେକର ଗୋଟିଏ ଦୂର ସ୍ଥାନରେ ଗୋଟିଏ ବିକିରଣ ସ୍ରୋତ ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁର ପୃଷ୍ଠତଳରେ ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ପଡ଼ୁଅଛି । ତେଣୁ ଯଦି ଆସୁଥିବା ତରଙ୍ଗଗୁଡ଼ିକର ହାରାହାରି ଶକ୍ତି ସାନ୍ଦ୍ରତା w ହୁଏ, ସେଗୁଡ଼ିକ ଏକକ ଆୟତନ ପିଚ୍ଛା w/c ଏକକର ସଂବେଗ ମଧ୍ୟ ପରିବହନ କରିଥାନ୍ତି (ଅନୁ: ୨·୯୨) । ତେଣୁ ତରଙ୍ଗଗୁଡ଼ିକ ପୃଷ୍ଠତଳର ପ୍ରତି· ଏକକ କ୍ଷେତ୍ରଫଳକୁ cwj ପରିମାଣର ଶକ୍ତି ସହ ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ w ଏକକର ସଂବେଗ ମଧ୍ୟ ବହି ଆଣିଥାନ୍ତି । ସଂବେଗ ଗୋଟିଏ ଭେକ୍ଟର ହୋଇଥିବାରୁ ଏହାର ଦିଗ ପୃଷ୍ଠତଳକୁ ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ରହିଥାଏ । ଯଦି ତରଙ୍ଗଗୁଡ଼ିକ ପୃଷ୍ଠତଳଦ୍ୱାରା ଶୋଷିତ ହୋଇଥାଏ, ତାହା ଏହି ସଂବେଗକୁ ଗ୍ରହଣ କରି w ପରିମାଣର ଚାପ ଅନୁଭବ କରିଥାଏ ।

ତାପରେ ମନେକର, ବିକିରଣ θ କୋଣରେ ଆପତିତ ହୋଇଅଛି । ତେବେ ରଶ୍ମିଗୁଡ଼ିକୁ ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ଟଣାଯାଇଥିବା ଏକକ କ୍ଷେତ୍ରଫଳକୁ ଯେଉଁ ପରିମାଣର ଶକ୍ତି ଅତିକ୍ରମ କରେ (ଚିତ୍ର ୫କ· ୧ରେ PQ) ତାହା PR ପୃଷ୍ଠତଳରେ ଏହାଠାରୁ ଅଧିକ କ୍ଷେତ୍ରଫଳ ଅର୍ଥାତ୍ $1/\cos\theta$ ପରିମାଣର କ୍ଷେତ୍ରଫଳରେ ପଡ଼ିଥାଏ । ଆଉ ମଧ୍ୟ, ପୃଷ୍ଠତଳକୁ ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ସଂବେଗର ସଂଘଟକ $\cos\theta$ କୁ ଅନୁପାତୀ ଭାବରେ ଅଭିଲମ୍ବଠାରୁ କମ୍ ହେବ । ତେଣୁ ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ପୃଷ୍ଠତଳର ଏକକ କ୍ଷେତ୍ରଫଳକୁ ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ ଦିଆଯାଉଥିବା ସଂବେଗ ଆଗମନର ଦରତା ଫଳରେ $\cos^2\theta$ ଅନୁପାତରେ କମିଯାଏ । ଯଦି ବିକିରଣ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣଭାବରେ ଶୋଷିତ ହୁଏ, ଏହା ଫଳରେ ଘଟୁଥିବା ଚାପ ହେବ,

$$P = w\cos^2\theta$$

ଗୋଟିଏ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ θ କୋଣରେ ନିକ୍ଷିପ୍ତ ହେଲେ ବା ଗୋଟିଏ ପ୍ରତିଫଳିତ ରଶ୍ମି ଗୁଚ୍ଛ ଦେଉଥିବା ଅଧିକ ଚାପ ସେହି ଭଳି କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହେବ । ଯଦି ଗୋଟିଏ ଆପତିତ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ଆପତନ କୋଣ θରେ ପୃଷ୍ଠତଳରୁ ପ୍ରତିଫଳିତ ହେବାର ଅନୁମାନ କରାଯାଏ, ପୃଷ୍ଠତଳରେ ମୋଟ ଚାପ ହେବ $2w \cos^2\theta$ ।



[ଚିତ୍ର ୮କ ୯]

ଶେଷରେ, ଗୋଟିଏ ସମତାପମାତ୍ରାରେ ଘଟୁଥିବା ବିକିରଣ ପରି ଗୋଟିଏ ବିକିରଣ ସ୍ରୋତ ଗୋଟିଏ ପୃଷ୍ଠତଳ ଆଡ଼କୁ ଓ ଗୋଟିଏ ସ୍ରୋତ ପୃଷ୍ଠତଳଅଡ଼ୁ ସମ ତୀବ୍ରତାରେ ସବୁ ଦିଗରେ ଗତି କରନ୍ତି । ବିକିରଣର ଏହିପରି ବଣ୍ଟନ, ବସ୍ତୁତଗୁଡ଼ିଏ ସମଶକ୍ତିତା-ବିଶିଷ୍ଟ ସମତଳ ତରଙ୍ଗ ସେମାନଙ୍କର ପ୍ରବାହ ଦିଗ ସବୁଦିଗରେ ସମବଣ୍ଟନ ହେବା ସହିତ ସମାନ । ମୋଟରେ ଏହିପରି Nଟି ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ରହୁ ଏବଂ ସେମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ କୌଣସି ଗୋଟିକ ଲାଗି ଶକ୍ତି ସାନ୍ଦ୍ରତା w ହେଉ । ତେଣୁ ପୃଷ୍ଠତଳର ଠିକ ସମାନରେ ମୋଟ ଶକ୍ତି ସାନ୍ଦ୍ରତା U ଓ ତା ଉପରେ ଚାପ P, ଯଥାକ୍ରମେ,

$$U = N\mathrm{w} \quad (୮କ.୧କ)$$

$$p = \Sigma w \cos^2\theta = \mathrm{w}\Sigma \cos^2\theta \quad (୮କ.୧ଖ)$$

ପରୋକ୍ତ ଯୋଗଫଳକୁ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରିବା ପାଇଁ ପୃଷ୍ଠତଳରେ O ବିନ୍ଦୁଠାରୁ ବାହାରକୁ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ଟାଣାଯିବାର ଅନୁମାନ କର, ସେଗୁଡ଼ିକ ପୃଷ୍ଠତଳ ଆଡ଼କୁ ବା ଏହାଠାରୁ ଦୂରକୁ ଟଣାଯାଅନ୍ତି । ତାପରେ Oକୁ କେନ୍ଦ୍ର କରି ଏକକ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ନେଇ ପୃଷ୍ଠତଳକୁ ଭୂମିକରି ଗୋଟିଏ ଅର୍ଦ୍ଧଗୋଲକ ଟାଣ (ଚିତ୍ର ୮କ୨) ଦେଖ, ୧୦ାରେ ଏ ରେଖାରୁ ଦୁଇଟି

ଟଣା ଯାଇଅଛି) । ଏହି ଅର୍ଦ୍ଧ ଗୋଲକରୁ ଉଚ୍ଚ କ୍ଷେତ୍ରଫଳ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ବଳୟ ଆକାରର ଅଂଶ କାଟ । O କୁ ଶୀର୍ଷବିନ୍ଦୁ ନେଇ ଓ ଅଭିଲମ୍ବ OP କୁ ଅକ୍ଷ ନେଇ ଅର୍ଦ୍ଧ କୋଣ θ ଓ $\theta+d\theta$ର ଦୁଇଟି କୋଣ ଟାଣି ଉକ୍ତ କ୍ଷେତ୍ରଫଳ ବାହାର କର । ଏହି କ୍ଷେତ୍ରର ପରିସୀମା $2\pi \sin\theta$ର ଗୋଟିଏ ବୃତ୍ତ । ଏହାର ଓସାର $d\theta$, ତେଣୁ ଏହାର କ୍ଷେତ୍ରଫଳ $2\pi \sin\theta d\theta$, କିନ୍ତୁ ସମସ୍ତ ଅର୍ଦ୍ଧ ଗୋଲକର କ୍ଷେତ୍ରଫଳ ହେଲା 2π । ବର୍ତ୍ତମାନ ବିକିରଣର N ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ O ମଧ୍ୟଦେଇ ଟଣାଗଲେ ସେମାନଙ୍କର ଜନକବର୍ତ୍ତୀ ହେବା ରେଖା ଯେଉଁ ବିନ୍ଦୁଗୁଡ଼ିକରେ ଅର୍ଦ୍ଧ ଗୋଲକଟିକୁ ଅତିକ୍ରମ କରିବେ, ସେ ବିନ୍ଦୁଗୁଡ଼ିକ ପୃଷ୍ଠତଳରେ ସମପରିମାଣରେ ବାଣ୍ଟି ହୋଇ ରହିବେ । ଯଦି ବଳୟ ଆକାରର କ୍ଷେତ୍ର ଦେଇ ଯାଉଥିବା ଏହି ରେଖାଗୁଡ଼ିକର ସଂଖ୍ୟାକୁ ଆମେ dN ଦ୍ୱାରା ସୂଚାଇବା, dN ଓ Nର ଅନୁପାତ ଏହି କ୍ଷେତ୍ରଫଳର ସମସ୍ତ ଅର୍ଦ୍ଧ ଗୋଲକର କ୍ଷେତ୍ରଫଳ ସହିତ ଅନୁପାତ ସହ ସମାନ ହେବ, ତେଣୁ

$$\frac{dN}{N}=\frac{2\pi \sin\theta\, d\theta}{2\pi}=\sin\theta\, d\theta$$

$\cos^2\theta$ର ମୂଲ୍ୟ ସମସ୍ତ dN ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ପାଇଁ ସମାନ । ତେଣୁ $\Sigma\cos^2\theta$କୁ ସେଗୁଡ଼ିକର ଅବଦାନ ହେଲା $\cos^2\theta\, dN$ ବା ଶେଷ ସମୀକରଣରୁ $N\cos^2\theta \sin\theta\, d\theta$ । ତେଣୁ

$$\Sigma\cos^2\theta=\int \cos^2\theta\, dN$$

$$=N\int_0^{\pi/2} \cos^2\theta \sin\theta\, d\theta$$

$$=\tfrac{1}{3}N \qquad (୫ଡ଼.୨)$$

(ସୀମା $\frac{\pi}{2}$ ହୋଇଅଛି, ବଳୟ OPର ସ୍ୱରୂପରେ ସମସ୍ତ ଦିଗ ନିଆଯାଇଅଛି) । ଆମେ ସମୀକରଣ (୫କ.୧)ରୁ ଏହିପରି ଚାପ ପାଇଁ ପାଉଅଛୁ, $P=\frac{1}{3}wN$

$$\text{ବା } P=\tfrac{1}{3}U \qquad (୫ଢ଼.୩)$$

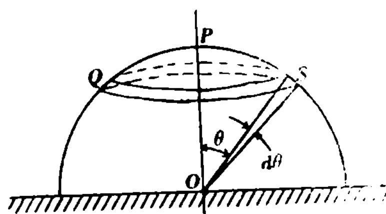
ତେଣୁ ଗୋଟିଏ ସମତାପମାତ୍ରାରେ ଥିବା ଗହ୍ୱରରେ ଚାପ ହେଲା ଅନ୍ତରସ୍ଥ ଯେକୌଣସି ବିନ୍ଦୁରେ ବିକିରଣ-ଶକ୍ତି ସାନ୍ଦ୍ରତାର ଏକ ତୃତୀୟାଂଶ ।

ପୃଷ୍ଠତଳକୁ ମୋଟ କେତେ ଶକ୍ତି ଆସୁଛି ହିସାବ କରିବା ଦରକାର ହେବ । N ଟି ତରଙ୍ଗମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ଅର୍ଦ୍ଧେକ ପୃଷ୍ଠତଳ ଆଡ଼କୁ ଗତି କରୁଥିବାରୁ ଓ ପ୍ରତି ତରଙ୍ଗ $cw \cos\theta$ ଶକ୍ତି ଦେଉଥିବାରୁ, ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ ପ୍ରତି ଏକକ କ୍ଷେତ୍ରଫଳକୁ (ଚିତ୍ର ୨) ଦ୍ୱାରା ଅଣାଯାଉଥିବା ମୋଟ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ହେଲା

$$\tfrac{1}{2} N \int_0^{\pi/2} cw \cos\theta \sin\theta \, d\theta$$

$$= \tfrac{1}{4} cwN = \tfrac{1}{4} cU$$

ଗୋଟିଏ ସମତାପମାତ୍ରାରେ ଥିବା ଗହ୍ୱରରେ ପୃଷ୍ଠତଳରୁ ସମ ପରିମାଣର ଶକ୍ତି ବାହାରି ଯାଇଥାଏ । ସେଥିପାଇଁ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇପାରିବ ଯେ, ଯେଉଁ ସମତାପମାତ୍ରାରେ ଥିବା ଗହ୍ୱରରେ ଶକ୍ତି ସାନ୍ଦ୍ରତା ହେଲା U, ସେଥିରେ ଗହ୍ୱର ମଧ୍ୟରେ କୌଣସି କାଳ୍ପନିକ ପୃଷ୍ଠତଳ ଟାଣିଲେ ଏହାର ଏକକ କ୍ଷେତ୍ରଫଳ ନେଇ ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଦିଗରେ $\tfrac{1}{4} cU$ ପରିମାଣର ଶକ୍ତି ଗତି କରିଥିବ ।



[ଚିତ୍ର ୨]

ଆଉ ମଧ୍ୟ, କୌଣସି କୃଷ୍ଣପୃଷ୍ଠତଳର ଏକକ କ୍ଷେତ୍ରଫଳରୁ ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ ବିକିରିତ ହେଉଥିବା ଶକ୍ତି ପରିମାଣ (ଏହାହିଁ ତା'ର ବିକିରଣ ନିସୃତତା h) ସେହି ତାପମାତ୍ରାରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ ସମତାପମାତ୍ରା ବିଶିଷ୍ଟ ଗହ୍ୱରରେ ଶକ୍ତି ସାନ୍ଦ୍ରତା U ସହିତ

$$R = \tfrac{1}{4} cU \qquad (\text{ସୂ}\ ୪)$$

ସମୀକରଣ ଦ୍ୱାରା ସଂପୃକ୍ତ । ପ୍ରତ୍ୟେକ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ପାଇଁ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଭାବରେ ଏହି ସମ୍ପର୍କ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହୋଇଥାଏ । ଗୋଟିଏ କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁରୁ $d\lambda$ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ପରିସର ମଧ୍ୟରେ ବହିର୍ଗତ ହେଉଥିବା ଶକ୍ତି ପରିମାଣ $e_\lambda d\lambda$ (ତେଣୁ $R = \int_0^\infty e_\lambda d\lambda$) ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହେଉ । ସେହି ଗହ୍ୱରରେ ସେହି ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ପରିସର ମଧ୍ୟରେ ବିକିରଣ ଶକ୍ତିର ସାନ୍ଦ୍ରତା ସେହିପରି $U_\lambda d\lambda$ (ତେଣୁ $U = \int_0^\infty U_\lambda d\lambda$) ରୂପେ ପ୍ରକାଶିତ ହେଉ । ତେଣୁ

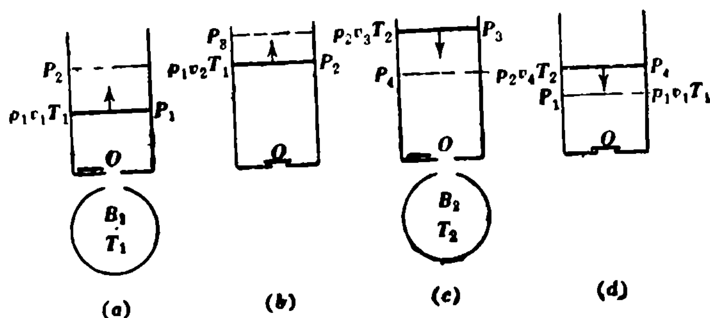
$$e_\lambda = \tfrac{1}{4} c U_\lambda \qquad (୫କ.୫)$$

5କ'2 ଷ୍ଟିଫେନ-ବୋଲ୍ଜମ୍ୟାନ ଧ୍ରୁବ :

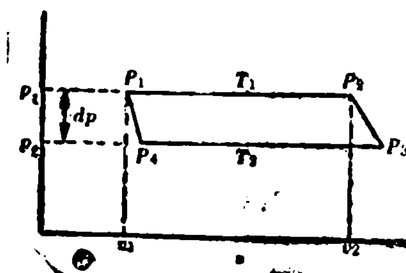
୧୮୮୪ରେ ବୋଲ୍ଜମାନ କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁ ବିକିରଣର ମୋଟ ସାନ୍ଦ୍ରତାର ତାପମାତ୍ରା ସହିତ ପରିବର୍ତ୍ତନ ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ତାତ୍ତ୍ୱିକ ନିୟମ ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ କରିଥିଲେ । ଏଥିପାଇଁ, ଗୋଟିଏ ଇଞ୍ଜିନର କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ବସ୍ତୁ ଭାବରେ ବିକିରଣକୁ ନେଇ ସେ ସେଥିରେ କାର୍ଣ୍ଣୋଟ ଚକ୍ର ବ୍ୟବହାର କରିଥିଲେ ।

ଗୋଟିଏ ଆଦର୍ଶ କାର୍ଣ୍ଣୋଟ୍ ଇଞ୍ଜିନରେ ଥାଏ, ଗୋଟିଏ ଋଜୁ ତାପରୋଧୀ ସିଲିଣ୍ଡର, ସେହିପରି ତାପରୋଧୀ ଗୋଟିଏ ପିଷ୍ଟନ ଓ ଏହା ଘର୍ଷଣ ବିନା ଗତି କରିବା ସମ୍ଭବ ହୋଇଥାଏ ଏବଂ ସିଲିଣ୍ଡରଟିର ଭୂମି ଦେଇ ତାପ ଏଥି ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରବେଶ କରିପାରେ ବା ଏଥିରୁ ଚାଲିଯାଇପାରେ । ଏହି କାନ୍ଥ, ପିଷ୍ଟନ ଓ ଭୂମି ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣରୂପେ ପ୍ରତିଫଳନକାରୀ ହୁଅନ୍ତୁ; କେବଳ ଏହାର ଭୂମିରେ ଗୋଟିଏ ଛିଦ୍ର O ଥାଉ । ଏହି ଛିଦ୍ରଟିକୁ ଇଚ୍ଛାନୁସାରେ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣରୂପେ ପ୍ରତିଫଳକାରୀ କାନ୍ଥଦ୍ୱାରା ଘୋଡ଼ାଇ ଦିଆଯାଇପାରିବ । ଏହି ସିଲିଣ୍ଡରଟିର ଛିଦ୍ର Oକୁ ନ ଘୋଡ଼ାଇ ଏହାକୁ ଗୋଟିଏ ଋଜୁ ସମତାପମାତ୍ରାରେ ଥିବା ପ୍ରକୋଷ୍ଠ B_1ର ଗୋଟିଏ ଛିଦ୍ରକୁ ଲଗାଇ ରଖ । ପ୍ରକୋଷ୍ଠ B_1ଟି T_1 ତାପମାତ୍ରାରେ (ଚିତ୍ର ୫କ.୩) ରଖାଯାଉ । ତେବେ ସିଲିଣ୍ଡରଟି B_1ରୁ O ଦେଇ ଆସୁଥିବା ବିକିରଣରେ ପୂର୍ଣ୍ଣହିବ ଏବଂ B_1ରେ ଥିବା ବିକିରଣ ସାନ୍ଦ୍ରତା U_1 ସିଲିଣ୍ଡରର ସାନ୍ଦ୍ରତା ସଙ୍ଗେ ସମାନ ହେବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ

ଏହି ପ୍ରଣାଳୀ ଚାଲିବ । ଏହି ଅବସ୍ଥା ହେଲେ B_1 Oକୁ ଯେଉଁ ହାରରେ ବିକିରଣ ଆସିବ, Oରୁ B_1କୁ ସେହି ହାରରେ ବିକିରଣ ଯିବ ।



[ଚିତ୍ର ୫କ'ଙ' ବୋଲ ଜମାନଙ୍କର ବିକିରଣ ଇଞ୍ଜିନ]



[ଚିତ୍ର ୫କ'୪ ବିକିରଣ ଶକ୍ତିର କାର୍ଣ୍ଣୋଟ ଚକ୍ର ପାଇଁ $p-v$ ଆରେଖ]

ଆମେ ବର୍ତ୍ତମାନ ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକର ନିମ୍ନଚକ୍ର ବିଷୟ ଲକ୍ଷ କରିବା ।

' । ପିଷ୍ଟନଟି ପ୍ରାଥମିକ ଅବସ୍ଥା P_1 (ଚିତ୍ର ୫କ.ଙକ)ରୁ ବାହାର (ସିଲିଣ୍ଡରର ପ୍ରାଥମିକ ଆୟତନ v_1 ଓ ବିକିରଣ ଲାଗି ପ୍ରାଥମିକ ଚାପ $P_1=\frac{1}{3}U_1$) ଆସ୍ତେ ଆସ୍ତେ, ଉପରଆଡ଼କୁ ଗତି କରୁ । P_2 ଅବସ୍ଥାରେ ପିଷ୍ଟନଟି ପହଞ୍ଚିଲେ ଆୟତନରେ v_2 ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ବୃଦ୍ଧି ହେବ । ଏହି ପ୍ରକ୍ରିୟା ଚାଲିଥିଲାବେଳେ ସିଲିଣ୍ଡର ମଧ୍ୟରେ ବିକିରଣ ସାନ୍ଦ୍ରତା U_1ରେ ସ୍ଥିର ରହିବ । ଏହାକୁ ସ୍ଥିର ରଖିବା ପାଇଁ ଗହ୍ୱର B_1ରୁ ଛିଦ୍ର O ଦେଇ ଅଧିକ ବିକିରଣ ଦୁଇଟି କାରଣରୁ ଭିତରେ ପ୍ରବେଶ କରିବା ଦରକାର :

(ଵ) W_a କାର୍ଯ୍ୟ ପିଷ୍ଟନ ଉପରେ ବିକିରଣ ଦ୍ୱାରା ଦେଉଅଛି । ଯଦି T_1 ସ୍ଥିର ରହେ, ସେହିପରି U_1 ଓ P_1 ମଧ୍ୟ ସ୍ଥିର ରହେ, ତେବେ

$$W_a = P_1 (v_2 - v_1) = \frac{1}{3} U_1 (v_2 - v_1)$$

(ଖ) ସିଲିଣ୍ଡରର ଆୟତନ $v_2 - v_1$ ପରିମାଣରେ ବୃଦ୍ଧି ପାଉଅଛି । ଏହା $U_1(v_2 - v_1)$ ପରିମାଣର ଶକ୍ତି ଭିତରେ ପ୍ରବେଶ କରିବା ଦରକାର କରୁଅଛି । ତେଣୁ B_1ରୁ ମୋଟ $H_1 = \frac{4}{3} U_1 (v_2 - v_1)$ (୫କ'୭)

ପରିମାଣର ଶକ୍ତି ଭିତରକୁ ପ୍ରବେଶ କରୁଅଛି ।

ଏହା ସମତାପ ପ୍ରଣାଳୀ $P - v$ ଆରେଖରେ (ଚିତ୍ର ୫କ·୪)ରେ ଆନୁଭୂମିକ ରେଖା $P_1 P_2$ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଅଛି । ଶକ୍ତି H_1 ସିଲିଣ୍ଡର ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ସ୍ଥାନକୁ ଦିଆଯାଇଥିବା ତାପର ଅନୁରୂପ । ଠିକ୍ ଯେପରି ସାଧାରଣ କାର୍ଣ୍ଣୋଟ୍ ଚକ୍ରରେ ପ୍ରଥମ ସମତାପ ପ୍ରସାରଣରେ ତାପ ଶୋଷିତ ହୋଇଥାଏ, ଏଠାରେ ମଧ୍ୟ ସେପରି ହୋଇଅଛି । B_1ର ତାପମାତ୍ରାକୁ ସ୍ଥିର ରଖିବାପାଇଁ କୌଣସି ବାହ୍ୟ ଉତ୍ସରୁ H_1 ପରିମାଣର ତାପ ନିଶ୍ଚୟ ଯୋଗାଇବାକୁ ହେବ ।

୨ । ଯେତେବେଳେ ପିଷ୍ଟନଟି P_2ରେ ପହଞ୍ଚେ, ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣରୂପେ ପ୍ରତିଫଳନକାରୀ ଘୋଡ଼ଣୀଟି ଛିଦ୍ର O (ଚିତ୍ର ୫କ·୩ଖ) ଉପରେ ଘୋଡ଼ାଇ ଦିଆଗଲା, ଏହାଦ୍ୱାରା ସିଲିଣ୍ଡରର ଅଭ୍ୟନ୍ତର ତାପଦୃଷ୍ଟିରୁ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣରୂପେ ଅବରୋଧ ହୋଇ ରହିଗଲା । ଏହାପରେ ଆଉ ପ୍ରସାରଣ କରି P_3 ଅବସ୍ଥାନକୁ ଅଣାଗଲା । ପୂର୍ବପରି ପିଷ୍ଟନ ଉପରେ ବାହ୍ୟ କାର୍ଯ୍ୟ କରାଗଲା । ଏହି ବାହ୍ୟ କାର୍ଯ୍ୟ ପାଇଁ ଦରକାର ହେଉଥିବା ଶକ୍ତି ବିକିରଣ ଦ୍ୱାରା ଯୋଗାଇ ଦିଆଯାଇଥାଏ । ଆଂଶିକ ଭାବରେ ଏହି କାର୍ଯ୍ୟ ଓ ଆଂଶିକ ଭାବରେ ଶକ୍ତି ଆୟତନରେ ବୃଦ୍ଧି ଲାଗି ସିଲିଣ୍ଡର ମଧ୍ୟରେ ଶକ୍ତି ସାନ୍ଦ୍ରତା U_1 ଅନ୍ୟ କୌଣସି ଲଘୁତର ମୂଲ୍ୟ U_2କୁ କମିଯିବ । ସେହିପରି ଚାପ ମଧ୍ୟ କମିଯିବ । ଏହା ଗୋଟିଏ ଧ୍ରୁବ ଶକ୍ତି ପ୍ରଣାଳୀ । ଚିତ୍ର ୫କ·୪ରେ $P_2 P_3$ ରେଖା ଦ୍ୱାରା ଏହା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ ।

ନୂତନ ଶକ୍ତିସାନ୍ଦ୍ରତା U_2 ବର୍ତ୍ତମାନ ଗହ୍ୱର ମଧ୍ୟରେ କୌଣସି ନୂତନ ତାପମାତ୍ରା T_2ରେ ଶକ୍ତି ସାନ୍ଦ୍ରତା ସହିତ ସମାନ ହେବ । ଯଦି ଏହି ଦ୍ୱିତୀୟ ପ୍ରଣାଳୀ

ସମୟରେ ପ୍ରସାରଣ ଅତି କମ୍ ହୁଏ, ଆମେ ଏହି ପରିବର୍ତ୍ତନ $T_1 - T_2$ କୁ dT ଦ୍ୱାରା ଓ ଶକ୍ତିରେ ଅନୁରୂପ ପରିବର୍ତ୍ତନ $U_1 - U_2$ କୁ dU ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରି ପାରିବା । $P = \frac{1}{3}U$ ହୋଇଥିବାରୁ, ଆମେ ପାଇବା $dP = \frac{1}{3}dU$ (୫କ'୭) dP ଏଠାରେ ବିକିରଣ ଚାପରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ବୁଝାଉଛି ।

୩ । ବର୍ତ୍ତମାନ ଇଞ୍ଜିନଟି ଗୋଟିଏ ଦ୍ୱିତୀୟ ସମତାପମାତ୍ରା T_2 ବିଶିଷ୍ଟ ଗହ୍ୱର B_2 (ଚିତ୍ର ୫କ'୩ଖ ରେ ମିଶାଇ ରଖିବା O ଛିଦ୍ରରୁ ଘୋଡ଼ଣୀଟି ଉଠାଇ ନେବା ଓ ପିଷ୍ଟନଟିକୁ ଉପଯୁକ୍ତ ବାହ୍ୟବଳ ପ୍ରୟୋଗ କରି P_3ରୁ P_4କୁ ଘୁଞ୍ଚାଇବା । ଏହି ସଙ୍କୋଚନ ଫଳରେ ସିଲିଣ୍ଡର ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ବିକିରଣର ସାନ୍ଦ୍ରତାରେ ବୃଦ୍ଧିଭାବ ଦେଖାଯିବ ଓ O ଛିଦ୍ରଦେଇ B_2କୁ ବିକିରଣ ବାହାରିଯିବାର ଭାବ ଦେଖାଯିବ । ତେବେ, ସଙ୍କୋଚନ ଏତେ ଆସ୍ତେ ଆସ୍ତେ ହେବ ଯେ, ବିକିରଣର ସାନ୍ଦ୍ରତା U_2 ଠାରୁ ଅତି ସାମାନ୍ୟ ମାତ୍ର ବୃଦ୍ଧି ପାଇ ଗୋଟିଏ ମୂଲ୍ୟରେ କାର୍ଯ୍ୟତଃ ସ୍ଥିର ହୋଇ ରହିଯିବ. ଏହି ଦ୍ୱିତୀୟ ସମତାପମାତ୍ରା ପ୍ରଣାଳୀବେଳେ ଇଞ୍ଜିନରୁ H_2 ପରିମାଣର ବିକିରଣ ଶକ୍ତି ବାହାରିଯିବ ।

୪ । ପିଷ୍ଟନଟି ଗୋଟିଏ ଉପଯୁକ୍ତ ସ୍ଥାନ P_4ରେ ପହଞ୍ଚିଲେ ଛିଦ୍ର Oକୁ ବନ୍ଦ କରାଯିବ ଓ ବିକିରଣକୁ ଧ୍ରୁବଶକ୍ତି ପ୍ରଣାଳୀରେ ସଙ୍କୋଚନ କରି ପ୍ରାଥମିକ ଅବସ୍ଥା P_1ରେ ପହଞ୍ଚିବାକୁ ହେବ ।

ଏହି ଚକ୍ରରେ ମୋଟ ବାହ୍ୟ କାର୍ଯ୍ୟ ଚିତ୍ର ୫କ'୪ରେ $P_1 P_2 P_3 P_4$ ଆୟତନ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହେଲା । ଯଦି ଚାପରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ଅତି ସାମାନ୍ୟ ବୋଲି ଧରିନେବା, ଏହି କ୍ଷେତ୍ରଫଳ ($v_2 - v_1$ dp ସହିତ ସମାନ ହେବ । ତେଣୁ , ମୋଟ ବାହ୍ୟ କାର୍ଯ୍ୟକୁ dW ନେଲେ, ଆମେ (୫କ'୭)ରୁ ପାଇବା

$$dW = (v_2 - v_1)\, dp$$
$$= \tfrac{1}{3}\,(v_2 - v_1)\, dU$$

ତେଣୁ, କାର୍ଣ୍ଣୋଟ ଚକ୍ରର ସାଧାରଣ ନିୟମ ଅନୁସାରେ,

$$\frac{dW}{H_1} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = \frac{dT}{T_1}$$

ଏବଂ, dW ପାଇଁ ମିଳିଥିବା ମୂଲ୍ୟ ଓ ସମୀକରଣ (୫କ.୬)କୁ ବ୍ୟବହାର କରି, ଆମେ ପାଇବା

$$\frac{dU}{U_1} = \frac{4dT}{T_1}$$

ତେଣୁ, ନିମ୍ନ ସୂଚୀକୁ ଉଠାଇ ନେଇ

$$\frac{dU}{U} = 4\frac{dT}{T}$$

ସମାକଳନ କଲେ ଏହି ସମୀକରଣ ହେବ, $\log U = 4 \log T + \text{const}$ ବା

$$U = \alpha T^4 \qquad (୫କ'୮)$$

ଏଠାରେ α ଗୋଟିଏ ଧ୍ରୁବ, ଏହାର ମୂଲ୍ୟ ଏପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଜଣାନାହିଁ । ତେଣୁ ସମୀକରଣ (୫କ'୪)ରୁ ଆମେ ପାଇବା, ନିଷ୍କାସନ କ୍ଷମତା ବା ବିକିରଣ ନିସୃତତା

$$R = \sigma T^4 \qquad (୫କ'୯କ)$$

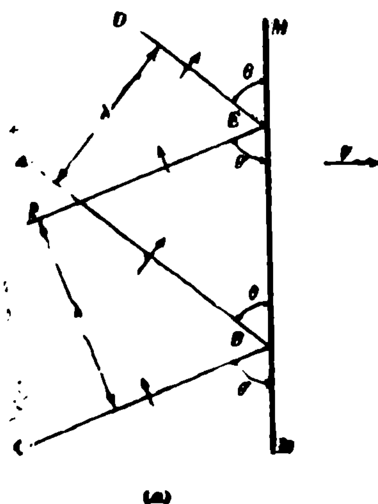
$$\sigma = \tfrac{1}{4}ca \qquad (୫କ'୯ଖ)$$

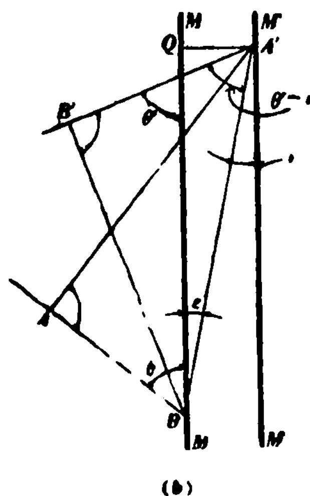
ତେଣୁ, ଗୋଟିଏ ସମତାପମାତ୍ରା ଗହ୍ୱରରେ ବିକିରଣ ସାନ୍ଦ୍ରତା ଓ ଗୋଟିଏ କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁର ମୋଟ ନିଷ୍କାସନ କ୍ଷମତା ଉଭୟ ପରମତାପମାତ୍ରା Tର ଚତୁର୍ଥ ଶକ୍ତିକୁ ଅନୁପାତୀ । ଏହା ଷ୍ଟିଫେନ ବୋଲ୍‌ଜମାନ ନିୟମ ।

5କ'3. ଗୋଟିଏ ଗତିଶୀଳ ଦର୍ପଣରୁ ପ୍ରତିଫଳନ :

ପୂର୍ବ ଆଲୋଚନାରେ ବିକିରଣର ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ବଣ୍ଟନ ପ୍ରତି କୌଣସି ଲକ୍ଷ୍ୟ ରଖା ଯାଇନାହିଁ । ତେବେ, ପ୍ରଶ୍ନ ଉଠେ, ବିଭିନ୍ନ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ପ୍ରତି ସେହି ନିୟମ ପ୍ରୟୋଗ ପାରିବ କି ନା ? ଏହି ପ୍ରଶ୍ନର ଅନୁସନ୍ଧାନ କରିବା ପାଇଁ, ଗୋଟିଏ ଗତିଶୀଳ ଦର୍ପଣରୁ ଗୋଟିଏ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ପ୍ରତିଫଳିତ ହେଲେ, ତା'ର ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ବଣ୍ଟନ କିପରି ହେବ, ଆମେ ଜାଣିବା ଦରକାର; ଶେଷ ଅନୁଚ୍ଛେଦରେ ବର୍ଣ୍ଣନା କରାଯାଇଥିବା ଆଦର୍ଶ ଯନ୍ତ୍ରାଂଶରେ ପିଷ୍ଟନଟି ଏହିପରି ଦର୍ପଣର କାର୍ଯ୍ୟ କରିଥାଏ ।

ଏହିପରି ଗତିର ଏକରଙ୍ଗୀ ରଶ୍ମି ଗୁଚ୍ଛ ଉପରେ କାର୍ଯ୍ୟ ଆମେ ପ୍ରଥମେ ବିସ୍ତୃତ କରିବା । ଏଥିପାଇଁ ଆମେ ହାଇଗେନଙ୍କ ନିୟମ ବ୍ୟବହାର କରିବା । ଚିତ୍ର ୫କ.୫କରେ MM ଗୋଟିଏ ଦର୍ପଣ ତା'ର ସମତଳ ପ୍ରତି ଲମ୍ବ ଭାବରେ ଗତିବେଗର ସଂଯୋଜକ Vରେ ଗତି କରୁଅଛି । AB ଓ DE ଦୁଇଟି ଆପତନ ତରଙ୍ଗ ଶୃଙ୍ଗାଗ୍ର । ଏମାନେ ପରସ୍ପରଠାରୁ ଏକ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ବା λ ଦୂରତାରେ ଥାଆନ୍ତି । ଏମାନେ ଦର୍ପଣଟି





[ଚିତ୍ର ୫କ.୫ ଗୋଟିଏ ଗତିଶୀଳ ଦର୍ପଣରୁ ପ୍ରତିଫଳନ]

ଉପରେ କୋଣ θରେ ଆପତିତ ହୁଅନ୍ତି । CB ଓ FE ଏକା ତରଙ୍ଗରୁ ପ୍ରତିଫଳିତ ହୋଇଥିବା ଦୁଇଟି ଅଂଶ ଓ ଏମାନେ θ ପ୍ରତିଫଳନ କୋଣରେ ପରସ୍ପର ମଧ୍ୟରେ λ ଦୂରତା ରଖି ବର୍ତ୍ତମାନ ଦର୍ପଣକୁ ତ୍ୟାଗ କରୁଛନ୍ତି । ଚିତ୍ରରୁ ସ୍ପଷ୍ଟ ଜଣାଯାଉଅଛି ଯେ,

$\lambda = BE \sin\theta$, $\lambda' = BE \sin\theta'$, ଏଥିରୁ ମିଳିଲା,

$$\frac{\lambda'}{\lambda} = \frac{\sin\theta'}{\sin\theta} \qquad (୫କ.୧୦)$$

λ' ଓ θ' ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ଦ୍ୱିତୀୟ ସମ୍ବନ୍ଧ ପାଇବା ପାଇଁ, ଏକା ତରଙ୍ଗର ଦୁଇଟି ପରପର ଅବସ୍ଥା ବିଚାର କର । ଚିତ୍ର ୫କ.୫ଖରେ, ଗୋଟିଏ ତରଙ୍ଗର ଗୋଟିଏ ଅଂଶ

AB ଦର୍ପଣ ଉପରେ ଠିକ୍ ପଡ଼ିବାକୁ ଆରମ୍ଭ କରୁଛି, କୌଣସି ମୁହୂର୍ତ୍ତରେ ଏହାର ଅବସ୍ଥାନ MM ହେଉ । ଅନ୍ୟ କୌଣସି ପର ମୁହୂର୍ତ୍ତରେ ତରଙ୍ଗର ସେହି ଅଂଶ, ଏହା θ' କୋଣରେ ପ୍ରତିଫଳିତ ହେବା ପରେ, $A'B'$ ଦ୍ୱାରା ଦେଖାଇ ହୋଇଥିଲି । ବର୍ତ୍ତମାନ A ବିନ୍ଦୁଟି A'ଠାରେ ଦର୍ପଣ ସହିତ ମିଶି ରହିଅଛି; ଦର୍ପଣଟି ବର୍ତ୍ତମାନ ଏହାର ନୂତନ ଅବସ୍ଥା $M'M$ରେ ଅଛି । A ଯେତେବେଳେ $A'A$ ରଶ୍ମି ଦେଇ ଗତି କରୁଥିଲା, Bଟି BB′ ଅତିକ୍ରମ କରିଥିଲା, ତେଣୁ AA′ = BB′, BAA′ କୋଣ ଓ BB′A′ କୋଣ, ରଶ୍ମି ଓ ତରଙ୍ଗ ମଧ୍ୟସ୍ଥ କୋଣ ହୋଇଥିବାରୁ, ଏଗୁଡ଼ିକ ସମକୋଣ । ତେଣୁ, ଏଥିରୁ ସଦୃଶ ତ୍ରିଭୁଜ ସାହାଯ୍ୟରେ ମିଳୁଛି, କୋଣ

$$B'A'B = ABA'$$

ବା

$$\theta' - \epsilon = \theta + \epsilon \qquad (୫କ'୧୧)$$

ଏଠାରେ ϵ ହେଲା କୋଣ QBA′ । ଆଉ ମଧ୍ୟ, A ଯେତେବେଳେ ଆଲୋକର ଗତିବେଗ cରେ Aରୁ A'କୁ ଯାଉଥିଲା, ଦର୍ପଣଟି u ଗତିବେଗରେ MMଠାରୁ MM'କୁ ଯାଉଥିଲା । ତେଣୁ, ଯଦି $A'Q$ଟି A'ରୁ MM ଉପରେ ପତିତ ଗୋଟିଏ ଲମ୍ବ ହୁଏ,

$$\frac{V}{c} = \frac{A'Q}{AA'} = \frac{BA' \sin \epsilon}{BA' \sin (\theta + \epsilon)}$$

$$= \frac{\sin \epsilon}{\sin (\theta + \epsilon)} \qquad (୫କ'୧୨)$$

ଶେଷ ଦୁଇ ସମୀକରଣ ମଧ୍ୟରେ ϵକୁ ନିଷ୍କାସନ କଲେ, ସମୀକରଣଟି ହେଲା

$$\tan \tfrac{1}{2}\theta' = \frac{c+V}{c-V} \tan \tfrac{1}{2}\theta \qquad (୫କ'୧୩)$$

ଏହା ଗୋଟିଏ ଗତିଶୀଳ ଦର୍ପଣରୁ ପ୍ରତିଫଳନ ନିୟମ ।

ଶେଷରେ, ସମୀକରଣ (୫କ'୧୦)ରୁ, ପ୍ରତିଫଳନ ଦ୍ୱାରା ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହେଉଥିବା ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ $\Delta\lambda$ ପାଇଁ ଆମେ ପାଇବା,

$$\frac{\triangle\lambda}{\lambda} = \frac{\lambda' - \lambda}{\lambda} = \frac{\sin\theta' - \sin\theta}{\sin\theta}$$

ତେବେ, ଆମେ $\triangle\lambda$ର ମୂଲ୍ୟ Vର ତେଣୁ $\theta' - \theta$ର ଅତି ଅଳ୍ପ ମୂଲ୍ୟ ଦରକାର କରୁ । ସେହି ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ

$$\sin\theta' - \sin\theta = (\theta' - \theta)\frac{d}{d\theta}\sin\theta$$

$$= (\theta' - \theta)\cos\theta$$

ଆଉ ମଧ୍ୟ, ସମୀକରଣ (୫କ'୧୦) ଓ (୫କ'୧୧)ରୁ

(ଏଥିରେ $\in$ ଗୋଟିଏ ଅତି କ୍ଷୁଦ୍ର ସଂଖ୍ୟା)

$$\theta' - \theta = 2\in = 2\,\text{sine}\,\in$$

$$= 2\,V/c\,\text{sine}\,(\theta + \in)$$

ପ୍ରଥମ କୋଟୀର ନେଲେ । ଏଠାରେ $\sin(\theta + \in)$ ବଦଳରେ $\sin\theta$ ନିଆଯାଇ ପାରେ । ଆମେ ଏହିପରି Vର ପ୍ରଥମ କୋଟୀରେ ପାଉ,

$$\triangle\lambda = 2\,V/c\,\lambda\cos\theta \qquad (୫କ.୧୪)$$

5କ'4 କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁ ବିକିରଣରେ କୌଣସି ଧ୍ରୁବଶକ୍ତି ପ୍ରସାରଣର ପ୍ରଭାବ:

ଅନୁ: ୭କ'୨ରେ ବର୍ଣ୍ଣିତ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ପ୍ରକାରର ଧାରାବାହିକ କ୍ରମକୁ ବର୍ତ୍ତମାନ ଫେରିଆସୁ । ବିକିରଣ ପ୍ରଣାଳୀର (୨ ସୋପାନ) ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ବଣ୍ଟନ ଉପରେ ପ୍ରଭାବ ଆମେ ବିଚାର କରିବା । ଏହି ପ୍ରଣାଳୀରେ, ପ୍ରଥମରୁ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ପ୍ରତିଫଳନକାରୀ କାନ୍ଥ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ସିଲିଣ୍ଡରରେ T_1 ତାପମାତ୍ରାରେ ବନ୍ଦୀ ହୋଇ ରହିଥିବା ପ୍ରାଥମିକ ଶକ୍ତି ସାନ୍ଦ୍ରତା U_1ରୁ ଗୋଟିଏ ନୂତନ ସାନ୍ଦ୍ରତା U_2କୁ ଆସ୍ତେ ଆସ୍ତେ ପ୍ରସାରିତ ହୋଇଛି । ଆମ୍ଭରୁ ଏହି ପ୍ରସାରଣ ସ୍ୱଳ୍ପ ବୋଲି ନିଆଯାଇଥିବା କଳ୍ପନାକୁ ଛାଡ଼ିଦେବା । ଚଳଣୀଳ ପିଷ୍ଟନ ଦ୍ୱାରା ରଶ୍ମିମାନଙ୍କର ଉପରେ ହୋଇଥିବା ପରିବର୍ତ୍ତନ ସମୀକରଣ (୫କ'୩) ବିକିରଣକୁ ଆଉ ସମାଙ୍ଗୀ ହେବାକୁ ନଦେବାର ଭାବ ଦେଖାଇବ । ତେବେ, ଏହି ଅସୁବିଧାଜନକ ପ୍ରଭାବକୁ ଦୂର କରିବାପାଇଁ ସିଲିଣ୍ଡରର ଗୋଟିଏ ଅଂଶ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣଭାବେ ପ୍ରତିଫଳନ କଲେ ମଧ୍ୟ ଏଣେତେଣେ ଛିଟ ରଣ କରି ପ୍ରତିଫଳନ କରେ ବୋଲି ଅନୁମାନ

କରିବା । ମାଗ୍ନିସ୍ରସ୍କମ୍ ଅକ୍ସାଇଡ଼ର ଗୋଟିଏ ପୃଷ୍ଠତଳ ଏହି କାର୍ଯ୍ୟ ଉତ୍ତମରୂପେ କରି ପାରିବ । ତାପରେ, ଯଦି ପ୍ରସାରଣ ଅତ୍ୟନ୍ତ ଅଳ୍ପେ ଅଳ୍ପେ କରାଯିବ, ସମସ୍ତ ରଶ୍ମି (କେବଳ ଅତି ସାମାନ୍ୟ କେତେକଙ୍କୁ ଛାଡ଼ିଦେଲେ) ବିଚ୍ଛୁରଣ କରୁଥିବା ପୃଷ୍ଠତଳକୁ ବାରମ୍ବାର ଆଘାତ କରୁଥିବାରୁ, ବିକିରଣ କାର୍ଯ୍ୟତଃ ସମାଙ୍ଗୀ ରହିବ ଏବଂ ପିଷ୍ଟନ ଉପରେ ଚାପ, ସମୀକରଣ (୫କ ୩) ଅନୁସାରେ, ସବୁ ସମୟରେ $\frac{1}{3}U$ ସଙ୍ଗେ ସମାନ ହେବ ।

ସିଲିଣ୍ଡରଟିର ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ A ଓ (ପରିବର୍ତ୍ତିତ) ଦୈର୍ଘ୍ୟ L ହେଉ । ତେଣୁ, ଯଦି ପିଷ୍ଟନଟି ବାହାର ଆଡ଼କୁ dl ଦୂରତା ଘୁଞ୍ଚିଲା ତାକୁ କୌଣସି ମୁହୂର୍ତ୍ତରେ ଶକ୍ତି ସାନ୍ଦ୍ରତା U ଧରିଏ, ବିକିରଣର ଚାପ ଦମନ ଲାଗି କାର୍ଯ୍ୟ $Pdv = \frac{1}{3} UAdl$ ତା ଉପରେ ହେବ ଏହି କାର୍ଯ୍ୟ ଆବଦ୍ଧ ଥିବା ଶକ୍ତି କ୍ଷୟ ହୋଇଥାଏ । ଏ ଶକ୍ତିର ମୋଟ ପରିମାଣ lAU ।

ତେଣୁ $$\tfrac{1}{3}UAdl = -d\,(lAU) = -AUdl - AldU$$

$$\frac{dU}{U} = -\frac{4}{3}\,\frac{dl}{l}$$

ଏବଂ ସମାକଳ ପରେ,

$$\log U = -\log l^{\frac{4}{3}} + \text{ଧ୍ରୁବ} \qquad (୫·୧୫କ)$$

$$U = c\,l^{-\frac{4}{3}} \qquad (୫·୧୫ଖ)$$

c ଗୋଟିଏ ଧ୍ରୁବ ବୁଝାଉଅଛି ।

ବର୍ତ୍ତମାନ ତାପଗତିକୀ ଯୁକ୍ତିଦ୍ୱାରା ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇପାରିବ ଯେ, ଏଠାରେ ଯେଉଁ ପ୍ରକାରର ପ୍ରସାରଣ ବିଷୟରକୁ ନିଆଯାଇଅଛି, ତାହା ବିକିରଣରେ କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁଗୁଣ ନଷ୍ଟ କରି ଦେଇ ପାରିବନାହିଁ । କୌଣସି ମୁହୂର୍ତ୍ତରେ ପ୍ରସାରଣ ମୋଟ ଶକ୍ତି ସାନ୍ଦ୍ରତାକୁ U_1କୁ ଜମାଇ ଦେଇଛୁ ବୋଲି ଓ ଗହ୍ୱରର ତାପମାତ୍ରା T_1 ହୋଇଛି ବୋଲି (ଏହି T_1 ତାପମାତ୍ରାରେ ଗହ୍ୱରର ତାପମାତ୍ରା U_1 ହୁଏ) ଅନୁମାନ କର । ମନେକର ସିଲିଣ୍ଡର ମଧ୍ୟରେ λ' ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟଠାରେ ପ୍ରତି ଏକକ ଘନ ମଧ୍ୟରେ ଗହ୍ୱର ଅପେକ୍ଷା ସିଲିଣ୍ଡରରେ ଅଧିକ ବିକିରଣ ରହୁ ଓ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ λ'' ଠାରେ କମ୍ ବିକିରଣ ରହୁ । ତେଣୁ ସିଲିଣ୍ଡରରୁ ସାମାନ୍ୟ ବିକିରଣ ଆଉ ଗୋଟିଏ ଦ୍ୱିତୀୟ ଗହ୍ୱର ମଧ୍ୟକୁ ପ୍ରେରଣ କରିବା ସମ୍ଭବ । ଏହି ଦ୍ୱିତୀୟ ଗହ୍ୱରଟି T_2' ତାପମାତ୍ରାରେ ରହୁ ଓ T'_1ଠାରୁ T_1^1 ସାମାନ୍ୟ

ଅଧିକ ହେବ । ଏହା କରିବାପାଇଁ ସିଲିଣ୍ଡରର ଭୂମିରେ ଥିବା ଛିଦ୍ରଟିକୁ ଗୋଟିଏ ଯୋଡ଼ଣିରେ ଘୋଡ଼ାଇ ଦେବା, ଯାହାକି λ' ନିକଟସ୍ଥ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟଗୁଡ଼ିକୁ ଛାଡ଼ିଦେବ, କିନ୍ତୁ ଅନ୍ୟ ସମସ୍ତ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟକୁ ପ୍ରତିଫଳନ କରିବ ଏବଂ ଏ ସିଲିଣ୍ଡରକୁ ଏହି ଛିଦ୍ରଠାରେ ଦ୍ୱିତୀୟ ଗହ୍ୱର ସହିତ ମିଳାଇ ଦିଆଯିବ । ସେହିପରି, λ'' ନିକଟରେ ଯଥେଷ୍ଟ ବିକିରଣ ସାମାନ୍ୟ ନ୍ୟୂନ ତାପମାତ୍ରା T_2''ରେ ଥିବା ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ଗହ୍ୱରରୁ ସିଲିଣ୍ଡର ମଧ୍ୟକୁ ପ୍ରେରଣ କରାଯାଇ ପାରିବ ଓ ଏହାର ମୋଟ ଶକ୍ତିକୁ U_2କୁ ଫେରାଇ ଅଣାଯାଇ ପାରିବ । ତାପରେ ବିକିରଣକୁ ସଙ୍କୁଚନ କରି U_1କୁ ଅଣାଯାଇପାରିବ, U ଓ Lରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ସବୁ ଓ ସମ୍ପାଦିତ କାର୍ଯ୍ୟ ପରିମାଣ ପ୍ରତ୍ୟେକ ପ୍ରସାରଣ ସମୟରେ ଏହି ରାଶି-ଗୁଡ଼ିକର ବିପରୀତ ହେବ । ଶେଷରେ, T_1ରେ ଥିବା ଗହ୍ୱର ସହିତ ସିଲିଣ୍ଡରକୁ ପୁଣି ଥରେ ମିଳାଇ ଆମେ T_1 ତାପମାତ୍ରାରେ ଗୋଟିଏ କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁର ବିକିରଣର ସ୍ପେକଟ୍ରମ ବଣ୍ଟନ ଯେପରି ହେବା କଥା, ସେପରି ଅବସ୍ଥାକୁ ଫେରାଇ ଆଣି ପାରିବା । ଏଥିପାଇଁ ସିଲିଣ୍ଡର ଓ ଗହ୍ୱର ମଧ୍ୟରେ କୌଣସି ମୋଟ ଶକ୍ତି ବିନିମୟ ହେଲନାହିଁ । କାରଣ T_1ରେ ଶକ୍ତି ସାନ୍ଦ୍ରତା ଯାହା ହେବା କଥା ବର୍ତ୍ତମାନ ସେ ସାନ୍ଦ୍ରତାକୁ ଫେରି ଆସି ସାରିଲାଣି । ଏହିପରି ଆମେ ଗୋଟିଏ ଚକ୍ରାକାର ପ୍ରଣାଳୀ ସମାପନ କରିସାରୁ ଥାଇଁ, ଏହାର ମୋଟଫଳ ହେଲା ଯେ T_2''ରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ ଗହ୍ୱରରୁ ତାପମାତ୍ରାକୁ ଏହାଠାରୁ ଅଧିକ ତାପମାତ୍ରା T_1''ରେ ଥିବା ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ଗହ୍ୱରକୁ କିଛି ତାପ ପ୍ରେରଣ କରିବା । କିନ୍ତୁ ଏହା ତାପଗତିକୀର ଦ୍ୱିତୀୟ ନିୟମ ଅନୁସାରେ ସମ୍ଭବ ନୁହେଁ ।

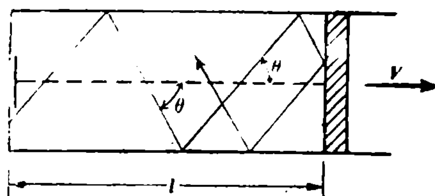
ତେଣୁ, କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁ ବିକିରଣ ଆସ୍ତେ ଆସ୍ତେ ଘଟୁଥିବା କୌଣସି ଧ୍ରୁବଶକ୍ତି ପ୍ରସାରଣ ବା ସଙ୍କୁଚନବେଳେ କୃଷ୍ଣ ହୋଇ ରହିବ । ତେବେ, ଏହାର ସାନ୍ଦ୍ରତା ଓ ତାପମାତ୍ରା ଜମିଯାଇପାରେ । ବକ୍ସରେ ଥିବା ଘଟଣାରେ ଶେଷ ସମୀକରଣ, ସମୀକରଣ (୫୭.୮) ସହିତ ମିଶି

$$T \propto \frac{1}{l^{\frac{1}{3}}} \qquad (୫୭.୧୨)$$

ହେବ ।

ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ବଣ୍ଟନ ଉପରେ ପ୍ରଭାବ ବିଚାର କରିବାପାଇଁ, ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟଗୁଡ଼ିକ ହାରାହାରି କେଉଁ ହାରରେ ବୃଦ୍ଧି ପାଉଛନ୍ତି, ଆମେ ବିଚାର କରିବା । ପ୍ରଥମେ ମନେକର, ସିଲିଣ୍ଡରର କାନ୍ଥ ଓ ପିଷ୍ଟନ ଦର୍ପଣୀୟ ଭାବରେ ପ୍ରତିଫଳନ କରୁଛନ୍ତି । ତେବେ, କୌଣସି

ରଶ୍ମି ବାରମ୍ବାର ପ୍ରତିଫଳିତ ହେଲେ ମଧ୍ୟ (ଚିତ୍ର ୫କ.୭ ଦେଖ) ସିଲିଣ୍ଡରର ଅକ୍ଷ ପ୍ରତି ଏହାର ବକ୍ରତା କୋଣ θ ସର୍ବଦା ସମାନ ରହିବ । ତେଣୁ ପିଷ୍ଟନକୁ ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ଏହାର ଗତିବେଗର ସଂଯୋଜକ cos θ ହେବ । ରଶ୍ମିଟି ପିଷ୍ଟନକୁ ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ $(\cos\theta)/2l$ ଥର ଆଘାତ କରିବ ଓ ସମୀକରଣ (୫କ.୧୪) ଅନୁସାରେ ଏହାର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ପ୍ରତିଥର $(2V\lambda\cos\theta)/c$ ଦ୍ୱାରା ବୃଦ୍ଧି ପାଇବ, V ହେଲା ପିଷ୍ଟନର



[ଚିତ୍ର ୫କ.୭]

ଗତିବେଗ । ତେଣୁ ଏହାର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ

$$\frac{d\lambda}{dt} = \frac{\cos\theta}{2l}\,\frac{2V\lambda\cos\theta}{c}$$

$$= \frac{V\lambda}{l}\cos^2\theta$$

ଦ୍ୱାରାରେ ବଢ଼ିଯାଏ । ଯଦି λ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟର ରଶ୍ମିଗୁଡ଼ିକ ବିଭିନ୍ନ ଦିଗରେ ସମଭାବରେ ବାଣ୍ଟି ହୋଇଥାଏ, ସେ ସମସ୍ତଙ୍କ ପାଇଁ cos θର ହାରାହାରି ମୂଲ୍ୟ ସମୀକରଣ (୫କ.୨) ଅନୁସାରେ $\frac{1}{3}$ । ତେଣୁ ଏହି ରଶ୍ମିଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ $d\lambda/dt$ର ହାରାହାରି ମୂଲ୍ୟ

$$\frac{d\lambda}{dt} = \frac{V\lambda}{3l} = \frac{\lambda}{3l}\,\frac{dl}{dt}$$

କାରଣ $V = \frac{dl}{dt}$

ହିସାବକୁ ସରଳ କରିବାପାଇଁ, ବର୍ତ୍ତମାନ ମନେକର ଯେ, କାନ୍ଥମାନଙ୍କରେ ଗୋଟିଏ ବର୍ଚ୍ଛୁରିଣ ଭାବରେ ପ୍ରତିଫଳନ କରିପାର ସ୍ଥାନ ଅଛି । ତେଣୁ ସମସ୍ତ ରଶ୍ମି ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ଦିଗରେ ଘୂରିଲାବେଳେ ସମୟକ୍ରମେ ଏଥିରେ ଆଘାତ ପାଇବେ ଏବଂ λ ତରଙ୍ଗ

ଦୈର୍ଘ୍ୟର ସମସ୍ତ ରଶ୍ମି ଏଠାରେ ପ୍ରଭାବ କରାଯାଇଥିବା ପ୍ରାଚୀରର ପରିବର୍ତ୍ତିତ ଉପଯୋଗ କରିବେ । (ଏହି ସିଦ୍ଧାନ୍ତ ଅଧିକପୂର୍ଣ୍ଣ ବିଶ୍ଳେଷଣ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରତିଷ୍ଠା କରାଯାଇପାରେ । ମାତ୍ର ଏଥିପାଇଁ ଆମର ସ୍ଥାନ ନାହିଁ ।) ଶେଷ ସମୀକରଣଟି ନିମ୍ନରୂପେ ସମାକଳ କରାଯାଇ ପାରେ ।

$$\frac{d\lambda}{\lambda} = \frac{1}{3}\frac{dl}{l} \qquad \text{(୫କ'୧୭କ)}$$

$$\log \lambda = \log l^{\frac{1}{3}} + \text{ଧ୍ରୁବ} \qquad \text{(୫କ'୧୭ଖ)}$$

$$\lambda \propto l^{\frac{1}{3}} \propto \frac{1}{T} \qquad \text{(୫କ'୧୭ଗ)}$$

(୫କ'୧୭) ଦ୍ୱାରା । ତେଣୁ ଅମେ ସିଦ୍ଧାନ୍ତ କଲୁ ଯେ, କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁ ବିକିରଣ ପ୍ରତ୍ୟେକ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ସଂଯୋଜକ ଏପରି ଭାବରେ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହେବ ଯେ,

$$\lambda \propto \frac{1}{T}$$

5କ·5 ଭାଇନ୍ ବିସ୍ଥାପନ ନିୟମ :

ବର୍ତ୍ତମାନ λ_1ରୁ $\lambda_1 + d\lambda_1$ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ପରିସର ଉପରେ ଲକ୍ଷ୍ୟ ରଖିବା । T_1 ତାପମାତ୍ରାରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ ଗହ୍ୱର ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରତି ଏକକ ଆୟତନ ମଧ୍ୟରେ ଏହି ପରିସରରେ $U_{\lambda_1}\, d\lambda_1$ ଶକ୍ତି ରହୁ । ଯେଉଁ ଧ୍ରୁବଶକ୍ତି ପ୍ରସାରଣରେ ତାପମାତ୍ରା T_2କୁ କମିଯାଏ, ତାହା ଏହି ପରିସରର ସୀମାକୁ λ_2 ଓ $\lambda_2 + d\lambda_2$କୁ ବଦଳାଇ ଦେଇଥାଏ (ବର୍ତ୍ତମାନ ଯେଉଁ ଫଳରେ ପହଞ୍ଚିଥାଉଁ, ତା ଅନୁସାରେ) । ଏଠାରେ

$$\frac{\lambda_2}{\lambda} = \frac{\lambda_2 + d\lambda_2}{\lambda_1 + d\lambda_1} = \frac{T_1}{T_2} \qquad \text{(୫କ.୧୮କ)}$$

ତେଣୁ

$$\frac{d\lambda_2}{d\lambda_1} = \frac{T_1}{T_2} \qquad \text{(୫କ'୧୮ଖ)}$$

$d\lambda_1$ରେ ଶକ୍ତି ସେତେବେଳେ କମିଯାଏ, ମୋଟ ଶକ୍ତି ଯେଉଁ ଅନୁପାତରେ କମେ, ଏହା ମଧ୍ୟ ସେହି ଅନୁପାତରେ କମେ, କାରଣ ଯେଉଁ ଯୁକ୍ତି ସମୀକରଣ (୫କ'୧୫)ରେ ପହଞ୍ଚିବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଦିଆଯାଇଥିଲା, ସେଥିରେ ସିଲିଣ୍ଡର ମଧ୍ୟରେ କେବଳ $d\lambda_1$ ବିକିରଣ ଅଛି ବୋଲି ଆମେ ଧରି ପାରିଥାଆନ୍ତେ । ତେଣୁ, U_{λ_2} ଟିର ନୂତନ ମୂଲ୍ୟ ହେବାରୁ

$$\frac{U_{\lambda_2} d\lambda_2}{U_{\lambda_1} d\lambda_1}=\frac{U_2}{U_1}=\frac{T_2^4}{T_1^4}$$

ଏବଂ ସମୀକରଣ (୫କ'୧୮ଖ)କୁ ବ୍ୟବହାର କଲେ

$$\frac{U_{\lambda_2}}{U_{\lambda_1}}=\frac{e_{\lambda_2}}{e_{\lambda_1}}=\frac{T_2^5}{T_1^5} \qquad (୫କ'୧୯)$$

ଏଠାରେ e_λ ହେଲା କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁର ବିକିରଣ କ୍ଷମତା, U_λ ଆକାରରେ ସମୀକରଣ (୫କ'୫) ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ ।

ତେଣୁ, ଯଦି ଦୁଇଟି ତାପମାତ୍ରାରେ U_λ ଓ e_λର ମୂଲ୍ୟସବୁ ତୁଳନା କରାଯାଏ, ଏକା ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟରେ ନହେଇ Tକୁ ବ୍ୟୁତ୍କ୍ରମ ଅନୁପାତରେ ଥିବା ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟରେ ତୁଳନା କରାଯାଏ, ତେବେ ସେମାନଙ୍କର ମୂଲ୍ୟସବୁ ପରମ ତାପମାତ୍ରାର ପଞ୍ଚମ ଶକ୍ତିକୁ ଅନୁପାତୀ ଥିବାର ଦେଖାଯିବ । ଏହି ସିଦ୍ଧାନ୍ତକୁ ୱିନ୍‌ ବିସ୍ଥାପନ ନିୟମ କୁହାଯାଏ । ଏହାକୁ ଅନ୍ୟ ଭାଷାରେ କହିଲେ) λT ଗୁଣଫଳ ଧ୍ରୁବ ରହିବା ଭଳି ଯଦି ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ବଦଳେ, ତେବେ U_λ/T^5 ବା e_λ/T^5ର ସମସ୍ତ ତାପମାତ୍ରାରେ ଏକା ମୂଲ୍ୟ ହେବ । ଯଦି λTକୁ x ଅକ୍ଷରେ ରଖି ନେଇ ଏଥିରେ କୌଣସି ଅନୁପାତକୁ ଗ୍ରାଫରେ ବସାଯାଏ, ସବୁ ତାପମାତ୍ରାରେ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହେବାଭଳି ଗୋଟିଏ ରେଖା ମିଳିବ (ଚିତ୍ର ୫'୨) ।

ପ୍ରଶ୍ନାବଳୀ

୧ । (କ) ସୂର୍ଯ୍ୟକୁ $7 \times 10^8 m$ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁ ପୃଥିବୀଠାରୁ $1.5 \times 10^{11} m$ ଦୂରରେ ଅଛି ବୋଲି ଅନୁମାନ କରି ସୂର୍ଯ୍ୟର ପୃଷ୍ଠତଳର ତାପମାତ୍ରା ହିସାବ କର । ସୌର ଧ୍ରୁବ (ସୂର୍ଯ୍ୟର ରଶ୍ମି ଗୁଡ଼ିକୁ ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ଥିବା ପୃଷ୍ଠତଳରେ ପ୍ରତି ଏକକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ପଡ଼ୁଥିବା ପାୱାର) ହେଲା $1400 W/m^2$ ।

(ଖ) $\lambda_m = 4900°A$ ନେଇ ସୂର୍ଯ୍ୟର ପୃଷ୍ଠତଳର ତାପମାତ୍ରା ହିସାବ କର ।

୨ । ଦେଖାଅ ଯେ, ପ୍ଲାଙ୍କଙ୍କର ବିକିରଣ ନିୟମ ସମୀକରଣ (୫'୨୦) $h\nu >> kT$ ହେଲାବେଳେ $h\nu >> kT$ ବେଳେ ୱାଇନ୍‌ଙ୍କ ନିୟମରେ, ସମୀକରଣ (୫.୪) ଓ ସ୍ଥଳେ ଜିନ୍‌ସଙ୍କ ନିୟମରେ, ସମୀକରଣ (୫'୧୦) ପରିଣତ ହେବ ।

୩ । ଯଦି ଗୋଟିଏ ଆଣବିକ ଅସ୍ତ୍ରର ଅଗ୍ନି ପିଣ୍ଡ କୌଣସି ଅବସ୍ଥାରେ $10^7 °K$ ପୃଷ୍ଠତଳ ତାପମାତ୍ରା ବିଶିଷ୍ଟ $0.5m$ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧର ଗୋଟିଏ କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁ ବୋଲି ଅନୁମାନ କରାଯାଏ, (କ) ଏଥିରୁ ମୋଟ ବିକିରିତ ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକ ପାୱାର ବାହାର କର ।
(ଖ) ଯେଉଁ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟରେ ସର୍ବାଧିକ ଶକ୍ତି ବିକିରିତ ହୋଇଥାଏ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ଏବଂ (ଗ) kTର ମୂଲ୍ୟ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଭୋଲ୍‌ଟରେ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

ଉତ୍ତର : (କ) $1.8 \times 10^{21} W$; (ଖ) 2.9 A°, (ଗ) 0.86 keV

୪ । ଚିତ୍ର ୫.୭ରୁ ସୂର୍ଯ୍ୟ $\lambda_m = 4900A°$ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁ ବୋଲି ଅନୁମାନ କରି ସୌର ବିକିରଣର ଯେଉଁ ଅଂଶ ଦୃଶ୍ୟମାନ (3500ରୁ 700A°), ଲାଲର ପୂର୍ବ ଓ ବାଇଗେଣି ପର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରୁ ଅଂଶରେ ଥାଏ, ତାହା କ କ ଭଗ୍ନାଂଶ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

ଉତ୍ତର : 0.43, 0.50, 6.07 ।

୫ । ଦେଖାଅ ଯେ, $d\lambda$ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ପରିସର ମଧ୍ୟରେ λ_m ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟରେ ଯଦି ସର୍ବାଧିକ ବିକିରଣ ଘଟିଥାଏ, ତେବେ $\lambda_m T = ch/4{\cdot}965\ k$, ଏହା ସମୀକରଣ (୫.୩)ର ସମକକ୍ଷ ।

୬ । BO ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ଶ୍ରେଣୀର ଗୋଟିଏ ଖୁବ୍ ଉଜ୍ଜ୍ୱଳ ତାରକାର ପୃଷ୍ଠତଳର କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ତାପମାତ୍ରା 20,000°k । ଯେଉଁ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟରେ e_λ ସର୍ବାଧିକ ତାହା ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର—ଏଥିପାଇଁ ବିକିରଣ ମୋଟାମୋଟି କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁ ପ୍ରକାରର ବୋଲି ଅନୁମାନ କର । ଏହି ତାରକା ପାଇଁ 5000A° ରେ e_λ ସେହି ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟଠାରେ e_λ ସହିତ କପରି ତୁଳନୀୟ—ସୂର୍ଯ୍ୟର ପୃଷ୍ଠତଳ ତାପମାତ୍ରା 6000°k ବୋଲି ଅନୁମାନ କର ?

୭ । $2m$ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ଅଗ୍ନିପିଣ୍ଡରୁ ଏକକ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ପରିସର ମଧ୍ୟରେ ବିକିରଣର ତୀବ୍ରତା ମାପ କରାଯାଇଅଛି । ଯେତେବେଳେ ମିଳୁଥିବା ତୀବ୍ରତାର ରେଖା ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟର ଫଳନ ଭାବରେ ଗ୍ରାଫରେ ଦେଖାଯିବ, ଏହାର ସର୍ବାଧିକ ମୂଲ୍ୟ 289·8 A°ରେ ଏବଂ ମୋଟାମୋଟି କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁ ରେଖାଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହେଲା । ପ୍ରଶ୍ନରେ ଥିବା ମୁହୂର୍ତ୍ତରେ ତାପମାତ୍ରା ଓ ଗୋଲକଟି ଦ୍ୱାରା ବିକିରିତ ହୋଇଥିବା ପାୱାରର ହିସାବ କର ।

୮ । U_ν ରେଖା (ଚିତ୍ର ୫.୨) $x = \dfrac{h\nu}{kT}$ ରେ ପ୍ରକାଶିତ ହେଲେ, $\nu = 2{\cdot}82\,\dfrac{kT}{h}$ ପାଇଁ ଏହାର ସର୍ବାଧିକ ମୂଲ୍ୟ ହୁଏ ବୋଲି ଦେଖାଅ ।

୯ । ସମୀକରଣ (୫.୨୨)କୁ ବ୍ୟବହାର କରି ଷ୍ଟେଫେନ ଧ୍ରୁବ σକୁ k c ଓ h ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କର ।

ଉତ୍ତର : $2\pi^5k^4/15c^2h^3$

୧୦ । ରୁବେନ୍ସ ଓ କୁଲବାମ୍‌ଙ୍କ ପରୀକ୍ଷାର ଫଳାଫଳରୁ ପ୍ଲାଙ୍କ ପ୍ରଥମେ ତାଙ୍କର hର ମୂଲ୍ୟ ଓ ବୋଲ୍‌ଜମାନ ଧ୍ରୁବ kର ମୂଲ୍ୟ ହିସାବ କରିଥିଲେ । ଏଥିରୁ ମିଳିଲା $U = (7{\cdot}6 \times 10^{-16} j/m^3\ {}^\circ k^4)T^4$

ଏବଂ $\lambda_m T = \frac{ch}{4{\cdot}956K} = 2{\cdot}9 \times 10^{-3}\ m°K$

ଏହି ପରୀକ୍ଷା ଫଳରୁ h ଓ k ବାହାର କର ।

୧୧ । ଚିତ୍ର ୫·୭ରୁ ଗୋଟିଏ କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁ 1000, 2000 ଓ 3000°K ତାପମାତ୍ରାରେ ଥିବାବେଳେ ଦୃଶ୍ୟମାନ ପରିସର (3500ରୁ 7000A°) ମଧ୍ୟରେ କେତେ ଭଗ୍ନାଂଶ ଶକ୍ତି ବିକିରଣ କର ହିସାବ କର ।

୧୨ । ସମୀକରଣ [୫ଙ୍‌·୫) ସାହାଯ୍ୟରେ ଦେଖାଅ ଯେ, ଷ୍ଟିଫେନ-ବୋଲ୍‌ଜମାନ ସୂତ୍ର ଓ ୱାଇନ୍‌ଙ୍କ ବିସ୍ଥାପନ ନିୟମ (ସମୀକରଣ ୫·୩ ଆକାରରେ) ପ୍ଲାଙ୍କଙ୍କ ସୂତ୍ର, ସମୀକରଣ (୫·୨୦କ)ରୁ ଗାଣିତିକ ଫଳାଫଳରୂପେ ମିଳିଥାଏ ବୋଲି ଦେଖାଅ ।

୧୩ । ଯଦି ଗୋଟିଏ କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁ ଗହ୍ୱରରେ λ ଓ $\lambda+d\lambda$ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ମଧ୍ୟରେ ଏକକ ଆୟତନ ମଧ୍ୟରେ ଫୋଟନମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା $N_\lambda\ d\lambda$ ହୁଏ, ଯେଉଁ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟରେ N_λ ସର୍ବାଧିକ h, k ଓ Tରେ ତାହା ପ୍ରକାଶ କର ।

୧୪ । ଦେଖାଅ ଯେ, ଗୋଟିଏ କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁ ଗହ୍ୱରରେ ν ଓ $\nu+d\nu$ ସ୍ପନ୍ଦନ ମଧ୍ୟରେ ଏକକ ଆୟତନ ମଧ୍ୟରେ ଫୋଟନମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା

$$N_\nu d\nu = \frac{8\pi\nu^2 d\nu}{c^3\left(e^{h\nu/kT}-1\right)}$$

ଏବଂ ପରୀକ୍ଷା କର ଯେ, N_νର ସର୍ବାଧିକ ମୂଲ୍ୟ $\nu = 1{\cdot}59\ kT/h$ ପାଇଁ ମିଳିବ ।

୧୫ । ପୂର୍ବ ପ୍ରଶ୍ନର ଫଳକୁ ବ୍ୟବହାର କରି ଦେଖାଅ ଯେ, ଗୋଟିଏ କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁ ଗହ୍ୱର ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରତି ଘନ ଏକକରେ ଫୋଟନମାନଙ୍କ ସଂଖ୍ୟା

$$N = \frac{8\pi k^3T^3}{c^3h^3}\int_0^\infty \frac{x^2dx}{e^x-1}$$

$$= \frac{8\pi k^3T^3}{c^3h^3} \times 2{\cdot}404$$

ଏଠାରେ $x = h\nu/kT$ । ପରୀକ୍ଷା କର ଯେ, ସେମାନଙ୍କର ମୂଲ୍ୟ $2\zeta(3)$, ଏଠାରେ

$$\zeta(n) = 1 + \frac{1}{2^n} + \frac{1}{3^n} + \cdots$$

$[\zeta(3) = 1{\cdot}202]$.

୧୬ । ପୂର୍ବ ପ୍ରଶ୍ନର ଉତ୍ତରକୁ ବ୍ୟବହାର କରି ପରୀକ୍ଷା କର ଯେ, ଗୋଟିଏ କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରତି ଏକକ କ୍ଷେତ୍ରରୁ ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ ବିକିରିତ ହେଉଥିବା ମୋଟ ଫୋଟନ ସଂଖ୍ୟା ହେଲା

$$2{\cdot}404\frac{2\pi}{c^2}\left(\frac{kT}{h}\right)^3$$

ଏବଂ ପ୍ରତି ଫୋଟନର ହାରାହାରି ଶକ୍ତି ହେବ $2{\cdot}70\ kT$ ।

୧୭ । ଗୋଟିଏ ଗରମ ପ୍ଲାଜ୍ମା କଣ୍ଡକ୍ଟର ଅସ୍ତ୍ରର ଗଡ଼ଜ ତାପମାତ୍ରା kT । ସମସ୍ତ ସମୟରେ କେଲ୍‌ଭିନ ତାପମାତ୍ରା ଅପେକ୍ଷା ସୁବିଧାଜନକ ହୁଏ ବୋଲି ବ୍ୟବହାର କରାଯାଏ । ଗୋଟିଏ 2-keV ଅସ୍ତ୍ର ପାଇଁ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର—

(କ) କେଲ୍‌ଭିନ୍ ତାପମାତ୍ରା । (ଖ) ଯେଉଁ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟରେ e_λ ସର୍ବାଧିକ ଅଟେ ଓ ସେହି ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟରେ ଫୋଟନମାନଙ୍କର ଶକ୍ତି (ଗ) ଫୋଟନମାନଙ୍କର ହାରାହାରି ଶକ୍ତି (ପ୍ରଶ୍ନ ୧୬ ଦେଖ), (ଘ) ଯେଉଁ ଫୋଟନ ଶକ୍ତି ପାଇଁ U_λ ସର୍ବାଧିକ ପ୍ରଶ୍ନ ୮ ଦେଖ) ଓ (ଙ) ଯେଉଁ ଫୋଟନ ଶକ୍ତି ପାଇଁ ଏକକ ଶକ୍ତି ପରିସର ମଧ୍ୟରେ ଫୋଟନମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ସର୍ବାଧିକ (ପ୍ରଶ୍ନ ୧୪,ଦେଖ) ।

ଉତ୍ତର : (କ) 23,200,000°K, (ଖ) 1·25A°, 9920eV, (ଗ) 5400 eV; (ଘ) 5640eV; (ଙ) 3180eV

୧୮ । ସମୀକରଣ (5·21)ରୁ ସମୀକରଣ (5·22)କୁ ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ କର, ଦେଖାଅ ଯେ,

$$\int_0^\infty \frac{x^3 dx}{e^x - 1} = 6\zeta(4)$$

ଏଠାରେ $\zeta(n) = 1 + 1/2^n + 1/3^n + \cdots\cdots$

$[\zeta(4) = \pi^4/90$ ବୋଲି ଗ୍ରହଣ କର] ।

ଷଷ୍ଠ ଅଧ୍ୟାୟ

ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଓ ଫଟୋ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ପ୍ରଭାବ

ଊନବିଂଶ ଶତାବ୍ଦୀରେ ପାରମାଣବିକ ଅନୁମାନ ବହୁ ବେଗରେ ଆଗେଇ ଯାଇଥିଲା ଏବଂ ଆଲୋକର ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ତତ୍ତ୍ୱ ପ୍ରତିଷ୍ଠିତ ହୋଇଥିଲା । ଏହି ତାତ୍ତ୍ୱିକ ବିସ୍ତାରଧାରାର ଅଗ୍ରଗତି ସହିତ ପରୀକ୍ଷାମୂଳକ ରସାୟନବିଦ୍ୟା ଓ ବିଦ୍ୟୁତ କ୍ଷେତ୍ରରେ ବହୁ କାର୍ଯ୍ୟ ହୋଇଥିଲା । ପ୍ରେରଣ କୁଣ୍ଡଳୀ, ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଚୁମ୍ବକ ଓ ଶକ୍ତ ପମ୍ପର ବ୍ୟବହାର ଅତି ପାତଳ ଗ୍ୟାସରେ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ବିସର୍ଜନ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ପରୀକ୍ଷାଗୁଡ଼ିକର ପଥ ସୁଗମ କରି ଦେଇଥିଲା । ଏହା ଫଳରେ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନକୁ, ଏକ୍‌ସରେ ଓ ତେଜସ୍କ୍ରିୟତାର ଆବିଷ୍କାର ଶେଷ ଦଶନ୍ଧିରେ ସମ୍ଭବ ହୋଇଥିଲା । ଯଦିଓ 'ପରମାଣୁ' ଶବ୍ଦଟି ପ୍ରଥମରୁ "ଅବିଭାଜ୍ୟ" ବୋଲି ବୁଝାଉଛି, ତଥାପି ତାହାର ଗଠନ ଅଛି ବୋଲି ହଠାତ୍ ଜଣାଗଲା ।

6·1 ବସ୍ତୁରେ ବିଦ୍ୟୁତ

ବିଦ୍ୟୁତ-ବିଶ୍ଳେଷଣର ନିୟମଗୁଡ଼ିକରୁ ବିଦ୍ୟୁତର ପାରମାଣବିକତ୍ୱର ସୂଚନା ମିଳୁଅଛି । ଫାରାଡ଼େ ଦେଖିଲେ ଯେ, ଯେତେବେଳେ ଏକା ପରିମାଣର ବିଦ୍ୟୁତ ବିଭିନ୍ନ ପ୍ରକାରର ଏକ ଭାଲେନ୍‌ସିଯୁକ୍ତ ଆୟନ ସଂଗ୍ରହ କରାଏ, ଯେଉଁ ପରିମାଣ ସବୁ ଜମିଯାଏ, ସେଗୁଡ଼ିକର ଓଜନ ନେଲେ ସେଗୁଡ଼ିକ ରାସାୟନିକ ଅର୍ଥରେ ଆୟନୀୟ ଓଜନଗୁଡ଼ିକୁ ଅନୁପାତୀ ହୁଏ । ଏଠାରେ ଆୟନୀୟ ଓଜନ କହିଲେ ବୁଝାଯାଉଅଛି ଯେ, ଆୟନଟିର ଗଠନରେ ଥିବା ଏକ ବା ଏକାଧିକ ପରମାଣୁଙ୍କର ଓଜନର ଯୋଗଫଳ । ଏଥିରୁ ସ୍ପଷ୍ଟ ଯେ ଏକା ପରିମାଣର ବିଦ୍ୟୁତ F ଏକ ଭାଲେନ୍‌ସିଯୁକ୍ତ ଯେକୌଣସି ପ୍ରକାର ଆୟନକୁ ଏକଗ୍ରାମ୍ ଆୟନ ସଂଗ୍ରହ

କରାଇବାକୁ ଯଥେଷ୍ଟ ହୋଇଥାଏ (ଗ୍ରାମ୍ ଆୟନ ଅର୍ଥ ଯେଉଁ ପରମାଣ ଆୟନର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଆୟନୀୟ ଓଜନର ସଂଖ୍ୟା ସହ ସମାନ ସଂଖ୍ୟକ ଗ୍ରାମର) । ଏହି ରାଶି Fକୁ ଫାରାଡ଼େ ବୋଲି କୁହାଯାଏ । ଏହାର ମୂଲ୍ୟ 96487c ।

ଗୋଟିଏ ଗ୍ରାମ୍ ଆୟନରେ ଥିବା ଆୟନମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ବା ଗୋଟିଏ ଗ୍ରାମ୍ ପରମାଣୁରେ ଥିବା ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ସବୁକ୍ଷେତ୍ରରେ ସମାନ ହୁଏ । ଏଥିରୁ ସ୍ପଷ୍ଟ ଯେ, ସବୁ ଏକ ଭାଲେନ୍ସିଯୁକ୍ତ ଆୟନ ଏକା ଏକକ ଚାର୍ଜ ବହନ କରିଥାନ୍ତି, ଏହାକୁ ସାଧାରଣତଃ e ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇଥାଏ । ଏହି ପ୍ରାକୃତିକ ଏକକ ପାଇଁ 1891 ମସିହାରେ ଷ୍ଟୋନି "ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ" ନାମ ପ୍ରସ୍ତାବ କରିଥିଲେ ।

ଆହୁ ଗୋଟିଏ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଚିନ୍ତାଧାରାରୁ ମଧ୍ୟ ବସ୍ତୁ ମଧ୍ୟରେ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ବିଦ୍ୟୁତ ଚାର୍ଜର ଅବସ୍ଥିତିର ସୂଚନା ମିଳିଥିଲା । ଏହା ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ତରଙ୍ଗ ସାହାଯ୍ୟରେ ବିକ୍ଷେପଣର ଆଲୋଚନାରୁ ମିଳିଥିଲା । 1880 ମସିହାରେ ଏଲ୍ ଲରେଞ୍ଜ ପ୍ରସ୍ତାବ କରିଥିଲେ ଯେ, ପ୍ରତିସରଣକାରୀ ମାଧ୍ୟମ ସବୁରେ ପ୍ରାକୃତିକ ସ୍ପନ୍ଦନ ν_0 ବିଶିଷ୍ଟ କ୍ଷୁଦ୍ର କ୍ଷୁଦ୍ର ଚାର୍ଜଯୁକ୍ତ କଣିକା ଥାଇ ପାରନ୍ତି ଓ ସେଗୁଡ଼ିକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଅବସ୍ଥାନର ଚାରିପଟେ ସ୍ପନ୍ଦିତ ହୋଇଥାନ୍ତି । ଏହିପରି କଣିକାମାନଙ୍କର ଏକ ବା ଏକାଧିକ ସେଟ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ପ୍ରାକୃତିକ ସ୍ପନ୍ଦନବିଶିଷ୍ଟ ବୋଲି ଅନୁମାନ କରି, ବିକ୍ଷେପଣ ଘଟଣାଟି ସଂପୂର୍ଣ୍ଣଭାବେ ବୁଝାଇଦେବା ସମ୍ଭବ ହୋଇଥିଲା ! କିନ୍ତୁ ବିକ୍ଷେପଣ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ଫଳସବୁ ସାହାଯ୍ୟରେ ସେହି କଣିକାମାନଙ୍କରେ ଥିବା ଚାର୍ଜ ପରିମାଣ ବା ଏପରିକି ସେମାନଙ୍କର ଚିହ୍ନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ କୌଣସି କଥା ସ୍ଥିର କରି ହେଉ ନଥିଲା ।

ଊନବିଂଶ ଶତାବ୍ଦୀର ମଧ୍ୟଭାଗରେ ଦେଖାଗଲା ଯେ, ଉଷ୍ଣ ବସ୍ତୁମାନଙ୍କର ନିକଟରେ ଥିବା ବାୟୁ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ସୁପରିବାହୀ, 1880 ମସିହାରେ ଆରମ୍ଭ ହୋଇଥିବା ଏକ ସୁଶୃଙ୍ଖଳିତ ଗବେଷଣାରେ ଏଲଷ୍ଟର ଓ ଗାଇଟେଲ୍ ଦେଖାଇଲେ ଯେ, ଗରମ ହୋଇ ଲାଲ ହୋଇଗଲେ ଚାର୍ଜଯୁକ୍ତ ବସ୍ତୁମାନେ ସେମାନଙ୍କର ବିଦ୍ୟୁତ ହରାଇଥାନ୍ତି । 1883 ମସିହାରେ, ଜ୍ୱଳନ୍ତ ବତୀ ଦୀର୍ଘସ୍ଥାୟୀ କରିବାକୁ ଚେଷ୍ଟା କଲାବେଳେ ଏଡ଼ିସନ୍ କେତେକ ଶକ୍ତ ଗୋଲକର ବାହାରକୁ ଭିନ୍ନ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋଡ୍ ଥିବା ବଲ୍ବ ନେଇ କାର୍ଯ୍ୟ କରୁଥିଲେ । ଏଥିରୁ ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋଡ଼କୁ ଗୋଟିଏ କାର୍ବନ ଫିଲାମେଣ୍ଟ ଯୋଗ କରିବା ପରେ ଜଳାଇବାକୁ

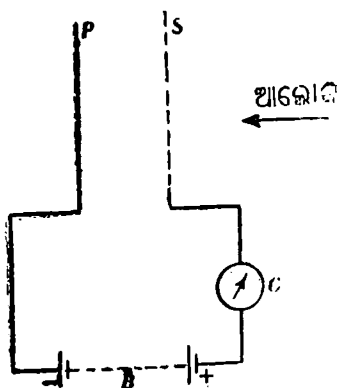
ଏଡ଼ିସନ୍ ଦେଖିଲେ ଯେ, ଯେତେବେଳେ ତୃତୀୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋଡ଼ଟି ଫିଲାମେଣ୍ଟ ତୁଳନାରେ ଯୁକ୍ତ କରି ଦିଆଗଲା, ତୃତୀୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋଡ଼କୁ ଯୋଗ କରାଯାଇଥିବା କୁଣ୍ଡଳୀରେ ବିଦ୍ୟୁତ୍‌ସ୍ରୋତ ପ୍ରବାହିତ ହେଉଅଛି । ଯେତେବେଳେ ପରୋକ୍ତଟିକୁ ବିଯୁକ୍ତ କରି ଦିଆଗଲା କୌଣସି ବିଦ୍ୟୁତସ୍ରୋତ ପ୍ରବାହିତ ହେଲା ନାହିଁ । ଏହାପରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଅସ୍ତିତ୍ୱ ପ୍ରମାଣିତ ହେବାର କେତେକ ବର୍ଷ ପୂର୍ବରୁ ଏଡ଼ିସନ ତାପଜ ଆୟନୀୟ ନିଃସରଣ ଆବିଷ୍କାର କରିଥିଲେ । (ଅନୁ: 6·8 ଓ 21·8ରେ ତାପଜ ଆୟନୀୟ ନିଃସରଣର ଅଧିକ ଆଲୋଚନା କରାଯାଇଅଛି) ।

6·2 ଫଟୋ ବିଦ୍ୟୁତର ଆବିଷ୍କାର :

ପରମାଣୁ ବିଜ୍ଞାନ, ଏହା ଫୁଟିବାର ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ସୂଚନା ହେନେରିଚ ହର୍ଜଙ୍କର କାର୍ଯ୍ୟରୁ ମିଳିଥିଲା । ହର୍ଜ ପ୍ରଥମେ ଲାବରେଟୋରିରେ କୁଣ୍ଡଳୀମାନଙ୍କରୁ ମାକ୍ସୱେଲ କହିଥିବା ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକ ତରଙ୍ଗ ଉତ୍ପନ୍ନ କରିଥିଲେ । ହର୍ଜ ସ୍ପାର୍କଫାଙ୍କ P ବିଶିଷ୍ଟ କୁଣ୍ଡଳୀରେ ତରଙ୍ଗସବୁ ସୃଷ୍ଟି କରିଥିଲେ ଓ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ସ୍ପାର୍କ ଫାଙ୍କ S ବିଶିଷ୍ଟ ଉପଯୁକ୍ତ ଭାବରେ ମେଳ ଖାଇଥିବା କୁଣ୍ଡଳୀରେ ସେଗୁଡ଼ିକୁ ଗ୍ରହଣ କରି ପାରିଥିଲେ । 1887ରେ ପରୀକ୍ଷାରେ ସୁବିଧା କରିବାପାଇଁ ସେ Sକୁ ଗୋଟିଏ କଳା ବାକ୍ସରେ ବନ୍ଦ କରିଦେଲେ ଏବଂ ସ୍ପାର୍କ ଗଠ କରିବା ପାଇଁ S ଛୋଟ ହେବା ଦରକାର ବୋଲି ଦେଖିଲେ । ଏପରିକି ଗୋଟିଏ କାଚ ପ୍ଲେଟ P ଓ S ମଧ୍ୟରେ ରଖାଗଲେ, ଏହିପରି ଦେଖାଯିବ । ହର୍ଜ ସିଦ୍ଧାନ୍ତ କଲେ ଯେ, Pରୁ ବାହାରୁଥିବା ଅତି ବାଇଗଣି ଆଲୋକ କୌଣସି ପ୍ରତିବନ୍ଧକ ନଥିଲାବେଳେ S ଠାରେ ସ୍ପାର୍କର ଗଠନକୁ ସାହାଯ୍ୟ କରୁଛି । ସେ ଦେଖିଲେ ଯେ ଆଉ ଗୋଟିଏ ସ୍ପାର୍କରୁ ଆଲୋକ ସମ ପରିମାଣରେ ସାହାଯ୍ୟକାରୀ ହେଉଅଛି, କିନ୍ତୁ ସବୁ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଆଲୋକ ଶେଷ ମୁଣ୍ଡମାନଙ୍କରେ ପଡ଼ିବା ଦରକାର । ଏହି ଆବିଷ୍କାରକୁ ଦୈବାତ୍ ଫଟୋ ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରଭାବ କୁହାଗଲା କାରଣ ଏପରି ପରୀକ୍ଷା ପାଇଁ ଆଗରୁ ବ୍ୟବସ୍ଥା କରାଯାଇ ନଥିଲା । ହର୍ଜ ଏକ ପ୍ରକାର ଭୌତିକ ଘଟଣା ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଗବେଷଣା କରିବାକୁ ଯାଇ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଅଜଣା, ଅପ୍ରତ୍ୟାଶିତ ଘଟଣା ଆବିଷ୍କାର କରିଥିଲେ ।

ହର୍ଜଙ୍କର ଆବିଷ୍କାର ହଠାତ୍ ବହୁ ଗବେଷକଙ୍କ ଆକର୍ଷଣ କଲା । ହାଲ୍‌ୱାଚ ଦେଖିଲେ ଯେ, ଗୋଟିଏ ସଦ୍ୟ ସଦ୍ୟ ପଲିସ୍ କରାଯାଇଥିବା ଜିଙ୍କ୍ ପ୍ଲେଟ୍ ଅନ୍ୟମାନଙ୍କଠାରୁ

ଶୋଧିତ ହୋଇ ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋସ୍କୋପକୁ ସଂଲଗ୍ନ ହୋଇ, ଯଦି ବିଯୁକ୍ତ ଚାର୍ଜ ପାଇଥାଏ ଓ ଅତି ବାଇଗଣି ଆଲୋକ ଦ୍ୱାରା ଆଲୋକିତ ହୋଇଥାଏ, ତେବେ ତାହା ଚାର୍ଜ ହରାଇବ, କିନ୍ତୁ ଯଦି ଚାର୍ଜଯୁକ୍ତ ହୋଇଥାଏ, ତେବେ କୌଣସି ପ୍ରଭାବ ପରିଲକ୍ଷିତ ହେବନାହିଁ । ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋସ୍କୋପ୍ ବଦଳରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋମିଟର ବ୍ୟବହାର କରି ସେ ଦେଖିଲେ ଯେ, ଗୋଟିଏ ସୁଷମ ଶୋଧିତ ପ୍ଲେଟ୍ ଯେତେବେଳେ ଆଲୋକିତ ହୁଏ, ଯେତେବେଳେ ସାମାନ୍ୟ ଯୁକ୍ତ ବିଭବ ଲାଭ କରିଥାଏ ଅର୍ଥାତ୍ କିଛି ବିଯୁକ୍ତ ଚାର୍ଜ ହରାଇ ଥାଏ । ଷ୍ଟୋଲେଟୋ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ଫଟୋ ବିଦ୍ୟୁତ ସ୍ରୋତ ଉତ୍ପନ୍ନ କରିବାପାଇଁ ଯେଉଁ ବ୍ୟବସ୍ଥା କରିଥିଲେ, ତାହା ଚିତ୍ର 6·1ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । P ଗୋଟିଏ ଫଟୋ ବିଦ୍ୟୁତ ପାଇଁ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ପ୍ଲେଟ (ଯଥା – ଗୋଟିଏ ପାଲିସ୍ ହୋଇଥିବା ଜିଙ୍କ୍ ପ୍ଲେଟ) । ଏହା କେତେଗୁଡ଼ିଏ ସେଲ୍‌ର ବିଯୁକ୍ତ ମୁଣ୍ଡ B ସହିତ ସଂଯୁକ୍ତ । ଗୋଟିଏ ସୂକ୍ଷ୍ମ ଗାଲ୍‌ଭାନୋମିଟର G ମଧ୍ୟ ଦେଇ ସେଲ୍‌ଗୁଡ଼ିକର ଯୁକ୍ତ ମୁଣ୍ଡକି ଗୋଟିଏ ତାର ଗ୍ରେଟିଂ ବା ଗେଜ୍ S ସହିତ ସଂଯୁକ୍ତ । ଯେତେବେଳେ ଅତି ବାଇଗଣି ଆଲୋକ P ଉପରେ ପଡ଼େ, G ରେ ଗୋଟିଏ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ସ୍ରୋତ ମିଳିଥାଏ । ଏଥିରୁ ସୂଚିତ ହୁଏ ଯେ, Pରୁ Sକୁ ଗୋଟିଏ ବିଯୁକ୍ତ ଚାର୍ଜ ପ୍ରବାହିତ ହୋଇଥାଏ । ଯଦି ବ୍ୟାଟେରୀକୁ ଓଲଟାଇ ଦିଆଯାଏ, ତେବେ କୌଣସି ସ୍ରୋତ ମିଳେନାହିଁ ।



[ଚିତ୍ର ୬·୧ ଷ୍ଟୋଲେଟୋଙ୍କ ବ୍ୟବସ୍ଥା].

ଏଷ୍ଟର ଓ ଗିଟେଲ୍ ଦେଖାଇଲେ, ଧାତୁମାନ ସ୍ପର୍ଶ ବିଭବ ଓ ଫଟୋ ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରଭାବ ମଧ୍ୟରେ ଘନିଷ୍ଠ ସମ୍ବନ୍ଧ ରହିଅଛି; ଧାତୁଟି ଯେତେ ଅଧିକ ବିଦ୍ୟୁତ ଯୁକ୍ତାତ୍ମକ ହେବ, ଫଟୋ ବିଦ୍ୟୁତ ଭାବରେ ତାହା ଅଧିକ ଦୀର୍ଘ ତରଙ୍ଗମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଉତ୍ତେଜିତ ହୋଇ ପାରିବ । ସୋଡ଼ିୟମ୍, ପଟାସିୟମ ଓ ରୁବିଡ଼ିୟମ ପରି ଆଲ୍କାଲି ଧାତୁଗୁଡ଼ିକ ଦୃଶ୍ୟମାନ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ଦ୍ୱାରା ଉତ୍ତେଜିତ ହୋଇଥାନ୍ତି । ଚାର୍ଜ ଯେ ବିଯୁକ୍ତ ଚାର୍ଜ ଥିବା କଣିକାମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ବହନ କରାଯାଉଅଛି, ତାହା ଏଷ୍ଟର ଓ ଗିଟେଲ୍ଙ୍କ ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜଣାଯାଉଅଛି । ସେମାନେ ଦେଖାଇଲେ ଯେ, ଗୋଟିଏ ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ଥିବା ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ଯଦି ଶକ୍ତି ସ୍ଥାନରେ ଦିଆଯାଏ, ତେବେ ଫଟୋ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ପ୍ରଭାବ କମିଯିବ । ଆଗରୁ ଦେଖାଯାଇଥିଲା ଯେ, ସର୍ବାଧିକ ସମ୍ଭବ ଶକ୍ତି ସ୍ଥାନରେ ମଧ୍ୟ ଏହି ପ୍ରଭାବ ମିଳିଥାଏ ଏବଂ ଏକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରିମାଣର ଲଘୁ ଚାପ ସୃଷ୍ଟି ହେବା ପରଠାରୁ ଏ ପ୍ରଭାବ ଶକ୍ତିସ୍ଥାନର "ମାତ୍ରା" ଉପରେ ନିର୍ଭରଶୀଳ ହୋଇ ନଥାଏ । ଏଥିରୁ ମନେ ହୁଏ ଯେ, S ଓ P ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ସ୍ଥାନରେ ଯେଉଁ ଗ୍ୟାସ ଅଣୁଗୁଡ଼ିକ ଥାଆନ୍ତି, ସେମାନେ ଚାର୍ଜର ପରିବାହକ ଭାବରେ କାର୍ଯ୍ୟ କରି ନଥାନ୍ତି । ପ୍ରସ୍ତାବ ଦିଆଗଲା ଯେ, ବୋଧହୁଏ, ଆଲୋକର ପ୍ରଭାବରେ କାଥୋଡ଼ର ବିଯୁକ୍ତ ଚାର୍ଜ ଥିବା ଆୟନଗୁଡ଼ିକ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ହୋଇଯାଇ ଆନୋଡ଼୍ ଆଡ଼କୁ ଗତି କରନ୍ତି । ଏହି ପ୍ରସ୍ତାବ ଠିକ୍ ନୁହେଁ ବୋଲି ଲେନାର୍ଡଙ୍କର ଗୋଟିଏ ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜଣାଗଲା । ଏହି ପରୀକ୍ଷାରେ ଗୋଟିଏ ପରିଷ୍କାର ପ୍ଲାଟିନମ୍ ତାର ଆନୋଡ଼ ଭାବରେ କାର୍ଯ୍ୟ କଲା ଓ ଗୋଟିଏ ସୋଡ଼ିୟମ ଆମଲ୍ଗାମ କାଥୋଡ଼୍ ଭାବେ କାମ କଲା । ଦୁହେଁ ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ଏକ ବାୟୁମଣ୍ଡଳରେ ରହିଥିଲେ । ଫଟୋ ବିଦ୍ୟୁତ ସ୍ରୋତ କୁଣ୍ଡଳୀ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରାୟ $3 \times 10^{-6}c$ ହେବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ପ୍ରବାହିତ ହୋଇଥିଲା । ଯଦି ଚାର୍ଜର ବାହକ ସୋଡ଼ିୟମର ଆୟନ ସବୁ ହୋଇଥାନ୍ତି ପ୍ରତି ପରମାଣୁ ବିଦ୍ୟୁତ ବିଶ୍ଳେଷଣ ପ୍ରଣାଳୀରେ ଯେତେ ଚାର୍ଜ ବହନ କରିଥାଏ, ଏଠାରେ ତାଠାରୁ ଅଧିକ ଚାର୍ଜ ବହନ କରିବନାହିଁ । ତେଣୁ ପ୍ଲାଟିନମ୍ ତାର ଉପରେ ଅନ୍ତତଃ $0{\cdot}7 \times 10^{-6}$mg ପରିମାଣର ସୋଡ଼ିୟମ ଜମିଯିବା ଉଚିତ । ଅତି ଜଣାଶୁଣା ଶିଖା ପରୀକ୍ଷା ସାହାଯ୍ୟରେ ଏ ପରିମାଣର ସୋଡ଼ିୟମ ଜଣାପଡ଼ିଯିବ । କିନ୍ତୁ ତାରକୁ ବଲ୍ବରୁ କାଢ଼ି ନେଇ ପରୀକ୍ଷା କଲେ, ସେଥିରେ କୌଣସି ସୋଡ଼ିୟମ୍ର ସତ୍ତା ମିଳିଲା ନାହିଁ ।

ଯଦି ଫଟୋ ବିଦ୍ୟୁତ ସ୍ରୋତ କାଥୋଡ଼୍ ଚାରିପଟେ ଥିବା ଗ୍ୟାସ ସାହାଯ୍ୟରେ ପ୍ରବାହିତ ହୁଏନାହିଁ, ବା କାଥୋଡ଼ଠାରୁ ଆୟନମାନଙ୍କ ସାହାଯ୍ୟରେ ଯାଏନାହିଁ, ତେବେ

କିଏ ଏହି ପରିବାଦକ ? ଏ ପ୍ରଶ୍ନର ଉତ୍ତର ବିଭିନ୍ନ ଶ୍ରେଣୀର ପରୀକ୍ଷାମାନଙ୍କରୁ ମିଳୁଥିବା ଫଳାଫଳର ଅଭିସରଣରୁ ମିଳିଥାଏ; ଶେଷରେ ଏଥିରୁ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନର ଆବିଷ୍କାର ହୋଇଥିଲା ।

---

୧ । ଏହି ଆଲୋଚନାଗୁଡ଼ିକରୁ ସାମୂହିକ ଭାବରେ ଆଧୁନିକ ଭୌତିକୀର ଗଠନରେ ଅନେକ ବିଷୟ ମିଳିଲା ?

(i) ଏ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ବୁଝାପଡ଼ି ନଥିବା ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ଘଟଣା ବୁଝାଇବାରେ ବା ସେଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ତତ୍ତ୍ୱ ବାହାର କରିବାରେ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ପରସ୍ପର ସହିତ ସଂଯୁକ୍ତ ନଥିବା ପରି ବିଭିନ୍ନ ଶ୍ରେଣୀର ଗବେଷଣା ଅନେକ ସମୟରେ ଅଭିସରିତ ହୋଇଥାନ୍ତି ।

(ii) ଏହିପରି ଯେଉଁ ତତ୍ତ୍ୱ ଗଢ଼ି ଉଠିଥାଏ, ତାହା ଭୌତିକୀର ଅନ୍ୟ ଶାଖାମାନଙ୍କରେ ସିଧାସଳଖ ପ୍ରଭାବ ପକାଇବାର ଦେଖାଯାଇଥାଏ ଓ ଅନେକ ସମୟରେ ଅନ୍ୟ ବିଜ୍ଞାନମାନଙ୍କୁ ମଧ୍ୟ ପ୍ରଭାବିତ କରିଥାଏ ।

(iii) ତେଣୁ, ଭୌତିକର ପ୍ରଣାଳୀଗୁଡ଼ିକ ଉଭୟ ସଂଶ୍ଳେଷଣାତ୍ମକ ଓ ବିଶ୍ଳେଷଣାତ୍ମକ । ଭୌତିକୀରେ ବହୁ ଘଟଣା, ବିଶେଷ କରି ଆଧୁନିକବର୍ଷମାନଙ୍କରେ, ଆବିଷ୍କୃତ ହୋଇଥିଲେ ମଧ୍ୟ, ଭଗ୍ୟର କଥା ସମସ୍ତ ଭୌତିକ ବିଜ୍ଞାନକୁ ଏକାଠି କରି ଚିନ୍ତା କରିବା ଭୌତିକ ବିଜ୍ଞାନୀମାନଙ୍କ ପକ୍ଷରେ ସମ୍ଭବ ହୋଇଅଛି ।

(iv) ଘଟଣା ଓ ତତ୍ତ୍ୱର ଏହି ଆବିଷ୍କାର ସବୁ ପ୍ରୟୋଗ ଭୌତିକୀ ଓ ବହୁ ଶିଳ୍ପର ପ୍ରଧାନ ଉତ୍ସ—ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ବିଭିନ୍ନ ପ୍ରକାରର ଫଟୋ ଓ ତାପୀୟ ଟିଉବର ବହୁଳ ବ୍ୟବହାର ସେଥି ମଧ୍ୟରୁ ଗୋଟିଏ ।

(v) ବିଜ୍ଞାନର ଶିଳ୍ପରେ ଏହିପରି ପ୍ରୟୋଗ ବୈଜ୍ଞାନିକମାନଙ୍କୁ ଉନ୍ନତ ଯନ୍ତ୍ରପାତିରେ କାର୍ଯ୍ୟ କରିବାର ସୁଯୋଗ ଦେଇଥାଏ । ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଟିଉବ୍‌ଗୁଡ଼ିକ ମୂଳତଃ ଶିଳ୍ପ ଉଦ୍ଦେଶ୍ୟରେ ତିଆରି କରାଯାଇଥିଲା । ସେଗୁଡ଼ିକ ଗବେଷଣାଗାରରେ ଭୌତିକ ବିଜ୍ଞାନବିତ୍‌ମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଏକ ଆଶୀର୍ବାଦ ।

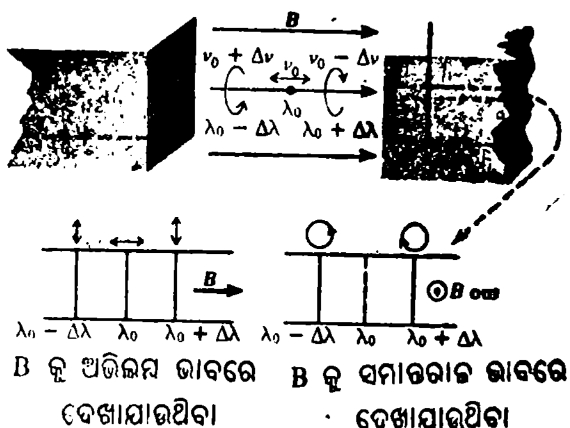
6.3 ଜିମାନ୍ ପ୍ରଭାବ :

1862ରେ ଫାରାଡ଼େ, ଗୋଟିଏ ଆଲୋକ ଉତ୍ସ ଉପରେ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରର ପ୍ରଭାବ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ପରୀକ୍ଷା କରୁ କରୁ ଗୋଟିଏ ସୋଡ଼ିୟମ ଉତ୍ସକୁ ଏକ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକର ଦୁଇ ମେରୁ ମଧ୍ୟରେ ରଖିଲେ । D ରେଖାଗୁଡ଼ିକୁ ଗୋଟିଏ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରୋସ୍କୋପ ସାହାଯ୍ୟରେ ସେ ମାପ କଲେ । D ରେଖାଗୁଡ଼ିକରେ ଆକୃତିରେ କିଛି ପରିବର୍ତ୍ତନ ସେ ଦେଖିବାକୁ ସକ୍ଷମ ହେଲେନାହିଁ ।

ଫାରାଡ଼େ ଯେଉଁ ପ୍ରଭାବ ଦେଖିବାପାଇଁ ଆଶା କରିଥିଲେ, ସେଥିରେ ବିଫଳ ହେବାର କାରଣ ତାଙ୍କର ଯନ୍ତ୍ରପାତିରେ ବିଭାଜନ କ୍ଷମତାର ଅଭାବ । କାରଣ 1896ରେ ଜିମାନ ସେତେବେଳେ ମିଳୁଥିବା ଉନ୍ନତ ପ୍ରଣାଳୀରେ ଫାରାଡ଼େଙ୍କ ପରୀକ୍ଷାକୁ ପୁନର୍ବାର ସମ୍ପନ୍ନ କରି ଆବିଷ୍କାର କଲେ ଯେ, ଯେତେବେଳେ ଉତ୍ସଟିକୁ ଅତି ଶକ୍ତିଶାଳୀ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ରଖାଯାଏ, ସେତେବେଳେ ସେଥିରୁ ବାହାରୁଥିବା ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ସେମାନଙ୍କର ସଂଘୋଜକରେ ବିଭକ୍ତ ହୋଇଯାଏ, ଆଉ ମଧ୍ୟ ଏଚ୍. ଏ. ଲରେଞ୍ଜଙ୍କର କଥାନୁସାରେ ପରୀକ୍ଷା କରି ସେ ଦେଖିଲେ ଯେ ଏହି ସଂଯୋଜକଗୁଡ଼ିକ ପାର୍ଶ୍ୱିଭୂତ ହୋଇଥାଏ ।

ସରଳତମ ଘଟଣାଟି ଚିତ୍ର ୬·୨ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି; ଏହାକୁ ସାଧାରଣ ଜିମାନ ପ୍ରଭାବ କୁହାଯାଏ । ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ର ନଥିବାବେଳେ ଗୋଟିଏ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ λ_0 ଯେତେବେଳେ ଚୁମ୍ବକୀୟ ପ୍ରେରଣ $\vec{B}$କୁ ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ଦେଖାଯାଏ, ସେତେବେଳେ $\lambda_0 - \Delta\lambda$, λ_0 ଓ $\lambda_0 + \Delta\lambda$ ଏହିପରି ତିନିଗୋଟି ସଂଯୋଜକରେ ବିଭକ୍ତ ହୋଇଯାଏ; $\lambda_0 \pm \Delta\lambda$ ରେଖାଗୁଡ଼ିକରେ ବିଦ୍ୟୁତ ଭେକ୍ଟର $\vec{B}$କୁ ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ଥାଇ ସମତଳ ପାର୍ଶ୍ୱିଭୂତ ହୋଇଥାନ୍ତି, କିନ୍ତୁ ମଝି ରେଖାଟିର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ମୂଳ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ସହିତ ସମାନ ହୁଏ ଓ ଏହାର ବିଦ୍ୟୁତ-ଭେକ୍ଟର $\vec{B}$ କୁ ସମାନ୍ତର ଭାବେ ରହି ଏହି ସମତଳ ପାର୍ଶ୍ୱିଭୂତ ହୋଇଥାଏ । ଯଦି ଗୋଟିଏ ମେରୁକୁ ଅନୁଲମ୍ବରେ ଖୋଳାଯାଇ ଉତ୍ସଟିକୁ $\vec{B}$ ସହିତ ସମାନ୍ତରାଳ ଭାବରେ ଦେଖାଯାଇପାରେ, କେବଳ $\lambda_0 \pm \Delta\lambda$ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ସଂଯୋଜକ ଦୁଇଟି ଦେଖାଯାଏ; ସେମାନେ ବୃତ୍ତାକାରରେ ପାର୍ଶ୍ୱିଭୂତ ହୋଇଥାନ୍ତି, ଚିତ୍ର 6·2ରେ ଏହା ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି ।

ପୁରାତନ ଜିମାନ-ଲରେଞ୍ଜ ତତ୍ତ୍ୱର ଏକ ସଂକ୍ଷିପ୍ତ ବିବରଣୀ ଏଠାରେ ଦିଆଯିବ, ଯଦିଓ ପୁରାତନ ତତ୍ତ୍ୱ ଏପରି ପାରମାଣବିକ ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକ ଲାଗି ଉପଯୋଗୀ ନୁହେଁ ।



[ଚିତ୍ର ୭'୨ ସାଧାରଣ ଜିମାନ ପ୍ରଭାବ; $\vec{B}$ କୁ ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ଓ ସମାନ୍ତରାଳ ଭାବରେ ଦେଖାଯାଉଥିବା ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ଓ ସେମାନଙ୍କର ପାର୍ଶ୍ୱିକ ଭିନ୍ନତା ତଳେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି ।]

ତେବେ ବି ଏହା ଗୋଟିଏ ସରଳ, ସ୍ପଷ୍ଟ ଧାରଣା ଦେବ । ଏହା ମନେ ରଖିବାକୁ ସାହାଯ୍ୟ କରିବ ଏବଂ କେତେକ ଠିକ୍ ଓ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ବିଷୟରେ ସୂଚନା ଦେବ । ପୁରାତନ ମତରେ, ଗୋଟିଏ ଘୂର୍ଣ୍ଣ ସରଳ ଆବର୍ତ୍ତୀ ଗତିଶୀଳ ହେଲେ ଆଲୋକ ବିକିରଣ କରିବ । ତେବେ, ପ୍ରତ୍ୟେକର ପରମାଣୁ ମଧ୍ୟରେ ଘୂର୍ଣ୍ଣ q ଓ ବସ୍ତୁତ୍ୱ m ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ କଣିକା ଅଛି । ଏହା ଏହାର ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାର ଅବସ୍ଥାନ ସହିତ ଏହାର ବିସ୍ଥାପନକୁ ଅନୁପାତୀ ଗୋଟିଏ ବଳ $\vec{F}$ ଦ୍ୱାରା ଆବଦ୍ଧ; $\vec{F} = -b\vec{r}$ । F ର କାର୍ତ୍ତିଜୀୟ ସଂଯୋଜକଗୁଡ଼ିକ $F_x = -bx$, $F_y = -by$, $F_z = -bz$ । ତେଣୁ କୌଣସି ଚୁମ୍ବକ ନ ଥିଲାବେଳେ ବିସ୍ଥାପନର ପ୍ରତ୍ୟେକ ସଂଯୋଜକ ଏକା ଆବୃତ୍ତିରେ ହାର୍ମୋନିକ୍ ଭାବରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇ ଥାଏ,

$$v_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{b}{m}} \qquad (୭'୧)$$

ଏଗୁଡ଼ିକର ବିସ୍ତାର ଓ କଳାସବୁ ବୋଧହୁଏ ବିଭିନ୍ନ ହୋଇଥାଏ ।

ବର୍ତ୍ତମାନ ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ପ୍ରୟୋଗ କରାଯାଉ । ଯଦିର ଯେଉଁ ସଂଯୋଜକ, କ୍ଷେତ୍ର ସହିତ ସମାନ୍ତରାଳ ଭାବେ ଥାଏ, ତାହା ଏହା ଦ୍ୱାରା ପ୍ରଭାବିତ ହୁଏନାହିଁ । ଏଣୁ ମୂଳ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ରେଖା $\vec{B}$ କୁ ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ଦେଖିଲେ ଦେଖାଯାଏ ଓ ଏହାର ବିଦ୍ୟୁତ ଭେକ୍ଟର $\vec{B}$ ସହିତ ସମାନ୍ତର ଭାବରେ ରହି ଏହା ପାର୍ଶ୍ୱୀଭୂତ ହୋଇଥାଏ; କିନ୍ତୁ $\vec{B}$ ସହିତ ସମାନ୍ତର ଭାବେ ଦେଖିଲେ କୌଣସି ରେଖା ରହେନାହିଁ—ଠିକ୍ ଏହିପରି ଦେଖାଯାଇଥାଏ ।

ସାଧାରଣ ଭାବରେ, କୌଣସି ସରଳ ଆବର୍ତ୍ତୀ ଦୋଳନ ଦୁଇଟି ବୃତ୍ତୀୟ ଗତି ଏକା ସ୍ପନ୍ଦନର ମାତ୍ର ବିପରୀତ ଦିଗରେ ଘଟି ଉପରିସ୍ଥାପିତ ହେଲେ ମିଳିଥାଏ । ମୂଳ ସ୍ପନ୍ଦନକୁ ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ରହିଲେ, ଏହି ଦୁଇ ବୃତ୍ତୀୟ ଗତିର ସ୍ପନ୍ଦନରେ ପ୍ରଭେଦ ହେବ, କାରଣ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର କଣିକାଟି ଉପରେ ଆଉ ଗୋଟିଏ ଅଧିକ ବଳ $q(\vec{V}\times\vec{B})$ ପକାଇବ । $\vec{B}$କୁ ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ଲକ୍ଷ୍ୟ କଲେ, ବୃତ୍ତୀୟ ଗତିକୁ ବିକିରଣ $\vec{B}$ କୁ ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ସମତଳରେ ପାର୍ଶ୍ୱୀଭୂତ ହୋଇ ଦେଖାଯିବ । ଅପରିବର୍ତ୍ତୀୟ ବୃତ୍ତୀୟ ଗତି ପାଇଁ

$$m\frac{v^2}{r} = br \pm qvB \qquad (୭.୨)$$

ସମୀକରଣ (୭.୨)ରୁ $v = 2\pi r\nu$ ଓ $b = 4\pi^2 m\nu_0^2$ ବସାଇ ଓ ν ପାଇଁ ସମାଧାନ କରି ମିଳିବ,

$$\nu = \pm\frac{qB}{4\pi m} + \sqrt{\nu_0^2 + \left(\frac{qB}{4\pi m}\right)^2}$$

ଯେଉଁଠି ଘଟଣା ଦେଖାଯାଏ, ସେଥିରେ $\nu_0 >> qB/4\pi m$ । ତେଣୁ ଯଥେଷ୍ଟ ଆସନ୍ନ ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ ଦୁଇ ବୃତ୍ତୀୟ ଗତିର ସ୍ପନ୍ଦନ ହେବ,

$$\nu = \nu_0 \pm \frac{qB}{4\pi m} \qquad (୭.୩)$$

ଗୋଟିଏ ଯୁକ୍ତ କଣିକା ପାଇଁ ମନ୍ଥର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ (ଅଧିକ λ) ଘଣ୍ଟାରୂପୀ ଗତି ପାଇଁ ହୋଇଥାଏ—ମେରୁ ମଧ୍ୟରେ ଗର୍ତ୍ତି କରି ସେଥିରେ ଦେଖିଲେ ଏପରି ଦେଖାଯାଆନ୍ତା; କିନ୍ତୁ ଜିମାନ ନ୍ୟୂନତର ସ୍ପନ୍ଦନ ପାଇଁ ମିଳୁଥିବା ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ଘଣ୍ଟାର ବିପରୀତ ଦିଗକୁ ଗତି ଦେଖି ପାରିଥିଲେ । ତେଣୁ ବିକିରଣକାରୀ କଣିକାରେ ଥିବା ଚାର୍ଜ ବିଯୁକ୍ତ । ବାହ୍ୟ ରେଖାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ପାର୍ଥକ୍ୟରୁ ଚାର୍ଜ ଓ ବସ୍ତୁତ୍ୱର ଅନୁପାତ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରି ହେବ, ଏହି ପାର୍ଥକ୍ୟ $\triangle\nu = \frac{Bq}{2\pi m}$ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ; ତେଣୁ

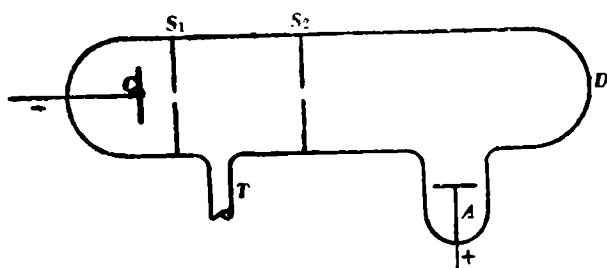
$$\frac{q}{m} = \frac{2\pi}{B}\triangle\nu \qquad (୭\cdot୪)$$

ଜିମାନଙ୍କର ପ୍ରଥମ ପରୀକ୍ଷାରୁ ମିଳିଲା ଯେ, q/m ଟି $10^{11} C/kg$ କୋଟିର । ପରେ, ଅଧିକ ବିଶ୍ଳେଷଣକ୍ଷମ ଯନ୍ତ୍ରପାତିରେ କାର୍ଯ୍ୟ କରି ସେ $q/m = 1{\cdot}6 \times 10^{11} C/kg$ ବୋଲି ପାଇଲେ, ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନର ଆଧୁନିକ ମୂଲ୍ୟ $1{\cdot}759 \times 10^{11} C/kg$ ସହିତ ଏହା ତୁଳନୀୟ ।

ପରି ପରୀକ୍ଷା ସବୁରୁ ମିଳିଲା ଯେ, ଜିମାନ ପ୍ରଭାବ ଏହି ପ୍ରସ୍ତାବିତ ତତ୍ତ୍ୱ ଅପେକ୍ଷା ବହୁ ପରିମାଣରେ ଜଟିଳ । ହେଣ୍ଡ୍ରିକ ଲରେଞ୍ଜ ଜିମାନ ଓ ଲରେଞ୍ଜଙ୍କର ଏହି କାର୍ଯ୍ୟ ପ୍ରଥମେ ଦେଖାଇ ଦେଲା ଯେ, ବିଯୁକ୍ତ ଚାର୍ଜ ଦ୍ୱାରା ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ରେଖାସବୁ ବିକିରିତ ହୋଇଥାଏ; ଏହା e/mର ଗୋଟିଏ ଉତ୍ତମ ମୂଲ୍ୟ ହୋଇଥିଲା (ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନରେ ଥିବା ଚାର୍ଜ ପରିମାଣ $-e$); ଏହା ଫଳରେ ଯେଉଁ ପରୀକ୍ଷା ଲବ୍ଧ ଫଳାଫଳ ଜମା ହୋଇଗଲା ତାହା ଭଲ ଭାବରେ ବିଷୟଗୁଡ଼ିକୁ ବୁଝିବାରେ ସାହାଯ୍ୟ କଲା । ବହୁ ସମୟରେ ତିନରୁ ଅଧିକ ସଂଯୋଜକ ଦେଖାଗଲେ ଓ ଉପରେ ଦିଆଥିବା ଏହି ତତ୍ତ୍ୱ ଅଧିକ ଜଟିଳ ବିନ୍ୟାସକୁ ବୁଝାଇବାକୁ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଅସମର୍ଥ ହୋଇଥିଲା । ପ୍ରକୃତରେ, କାହିଁକି ଯେ $\vec{B}$ କୁ ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ଓ ସମାନ୍ତର ଭାବରେ ଥିବା ସ୍ପନ୍ଦନ ସବୁ ବିସ୍ତର କରାଯିବ, ସେତିକି ମଧ୍ୟ ଏହା ବୁଝାଇ ପାରି ନଥିଲା । (ଜିମାନ ପ୍ରଭାବ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଅଧିକ କଥା 18 ଅଧ୍ୟାୟରେ ବର୍ଣ୍ଣିତ ହୋଇଅଛି) ।

6·4 କାଥୋଡ଼ ରଶ୍ମି ଓ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ :

1897 ପୂର୍ବରୁ, ସେହି ସୁନ୍ଦର ଦୃଶ୍ୟ ପାତଳ ଗ୍ୟାସ ମଧ୍ୟରେ ବିଦ୍ୟୁତର ବିସର୍ଜନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଅନେକ ଆଲୋଚନା ହୋଇଯାଇଥିଲା । ଗୋଟିଏ ପ୍ରେରଣ କୁଣ୍ଡଳୀ ବା ଗୋଟିଏ ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ମେସିନରୁ ବିସର୍ଜନ ଗୋଟିଏ କାଚନଳୀ (ଚିତ୍ର ୬·୩)ର ବିଯୁକ୍ତ ମୁଣ୍ଡ C (କାଥୋଡ) ଓ ଯୁକ୍ତ ମୁଣ୍ଡ A (ଆନୋଡ଼) ମଧ୍ୟରେ ଗତି କରୁ । ଏହି ନଳୀ

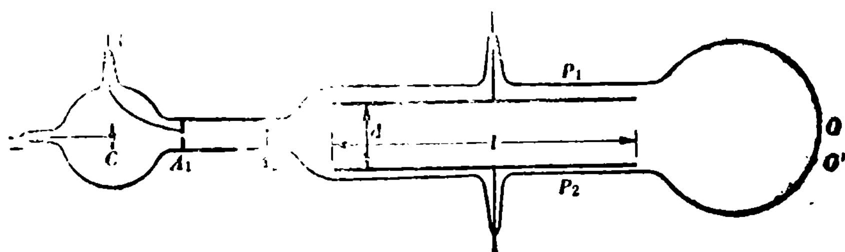


[ଚିତ୍ର ୬·୩ ଲଘୁ ଚାପରେ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ବିସର୍ଜନ ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣ କରିବାର ନଳୀ]

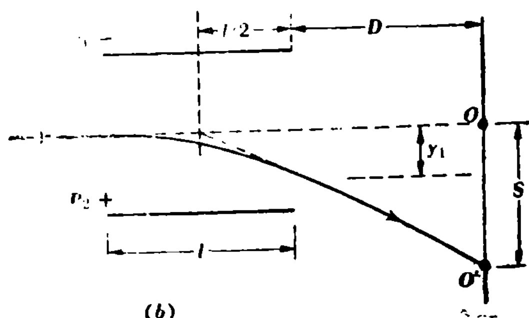
ପାର୍ଶ୍ୱସ୍ଥ T ପଥ ଦେଇ ଆଗରୁ ଖାଲି କରାଯାଇଅଛି । ଅତିଶୟ ଲଘୁ ଚାପରେ କାଥୋଡ଼ ପାଖରେ ଗୋଟିଏ କୃଷ୍ଣସ୍ଥାନ ଦେଖାଯାଇଥାଏ; ଏହାକୁ କ୍ରୁକ୍‌ସ କୃଷ୍ଣସ୍ଥାନ କୁହାଯାଏ । ଚାପ ଆହୁରି ଅଧିକ କମିଗଲେ ଏହି କୃଷ୍ଣସ୍ଥାନ ଅଧିକ ଦୀର୍ଘ ହୋଇଯାଏ ଅର୍ଥାତ୍ D ଆଡ଼କୁ ଆହୁରି ମିଳିଯାଏ, ଶେଷରେ ଏହା ନଳୀର କାଚ କାନ୍ଥ ପାଖରେ ପହଞ୍ଚିଯାଏ, ଏହି କାଚ ସେତେବେଳେ ପ୍ରତିପ୍ରଭ ଆଲୋକରେ ଆଲୋକିତ ହୋଇଥାଏ । ଯଦି S_1 ଓ S_2 ଛିଦ୍ର ଦୁଇଟି ଥାଇ ଗୋଟିଏ ପରଦା ଦିଆଯାଏ, ଏହି ପ୍ରତିଦୀପ୍ତି D ନଳୀର ଶେଷରେ D ଠାରେ ଗୋଟିଏ ବିନ୍ଦୁରେ ସୀମାବଦ୍ଧ ହୋଇ ରହେ । ଏଥିରୁ ସୂଚିତ ହୁଏ ଯେ, କାଥୋଡ଼ ରଶ୍ମି ବୋଲି କିଛି କାଥୋଡ଼ଠାରେ ଉତ୍ପନ୍ନ ହୋଇ କାଚକୁ ପ୍ରତିପ୍ରଭ କରାଏ । କାଥୋଡ଼କୁ ଉପଯୁକ୍ତ ଭାବରେ ଘୋଡ଼ାଇଦେଲେ ଏହି ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛକୁ ନଳୀ ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ପ୍ଲାଟିନମ ପାତ ଉପରେ କେନ୍ଦ୍ରିତ କରାଯାଇପାରେ, ପ୍ଲାଟିନମଟି ଗରମ ହୋଇ ଆଲୋକ ବିକିରଣ କରିପାରେ । କାଥୋଡ଼ ରଶ୍ମି ଯେ ବିଯୁକ୍ତ ଶୁଳ୍କ ବହନ କରିଥାଏ, ଏହା ବିଦ୍ୟୁତ ଓ

ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ସେମାନଙ୍କର ବିକ୍ଷେପଣରୁ ଅନୁମାନ କରିହେବ; 1895 ମସିହାରେ ପେରେନ୍ ଗୋଟିଏ ଶୋଧୀତ ପ୍ରକୋଷ୍ଠକୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋସ୍କୋପ୍ ସହିତ ସଂଯୁକ୍ତ କରି ଏହି ରଶ୍ମିକୁ ସେଥି ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରବେଶ କରାଇଲେ ଏବଂ ସେମାନେ ଋଣଯୁକ୍ତ ଚାର୍ଜ ବହନ କରିଥାନ୍ତି ବୋଲି ପ୍ରମାଣ କରିଥିଲେ ।

1897 ରେ ଜେ. ଜେ. ଥମ୍ସନ ଚିତ୍ର ୬'୪ରେ ଦେଖାଯାଇଥିବା ଯନ୍ତ୍ର ସାହାଯ୍ୟରେ କାଥୋଡ୍ ରଶ୍ମିର ଚାର୍ଜ ଓ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଅନୁପାତ ମାପ କରିଥିଲେ । ଅତି ମାତ୍ରାରେ ଶନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ନଳୀରେ କାଥୋଡ୍ C ଓ ଆନୋଡ୍ A ରହିଥାଏ, ଏଥିରେ ଗୋଟିଏ ସରୁ ଛିଦ୍ର ମଧ୍ୟ ଦେଇ କାଥୋଡ୍ ରଶ୍ମି ଗତି କରିଥାଏ । A_1 ସହିତ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ସ୍ତରରେ ଯୁକ୍ତ ଦ୍ୱିତୀୟ ଛିଦ୍ର A_2 କାଥୋଡ୍ ରଶ୍ମିକୁ ସରଳୀକରଣରେ ସାହାଯ୍ୟ କରିଥାଏ । A_2 ପରେ



(a)



(b)

[ଚିତ୍ର ୬'୪ (କ) ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ e/m ସ୍ଥିର କରିବାପାଇଁ ଥମସନ୍ଙ୍କ ଯନ୍ତ୍ରପାତି
(ଖ) ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ରଦ୍ୱାରା ଗୋଟିଏ ଇଲେକଟ୍ରନର ବିକ୍ଷେପଣ
(ସ୍କେଲ ଅନୁସାରେ ନୁହେ ।)]

କ୍ଷେତ୍ର ନଥିଲେ O ଠାରେ ଗୋଟିଏ ଆଲୋକ ପ୍ରତିଦୀପ୍ତ ଦାଗ ଏହା ସୃଷ୍ଟି କରିଥାଏ । କିନ୍ତୁ ଯେତେବେଳେ P_1 ଓ P_2 ମଧ୍ୟରେ ବିଭବ ତାରତମ୍ୟ V ପ୍ରୟୋଗ କରାଯାଏ, ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛଟି O' ବିନ୍ଦୁକୁ ବିକ୍ଷେପିତ ହୋଇଥାଏ । ଫଳେ ହେଲ୍ମହୋର୍ଜ କୁଣ୍ଡଳୀ ବ୍ୟବହାର କରି (ଚିତ୍ରରେ ଦେଖାଯାଇନାହିଁ) P_1 ଓ P_2 ମଧ୍ୟରେ ସମସ୍ତ ସ୍ଥାନରେ ଗୋଟିଏ ସମପରିମିତ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର କାଗଜର ସମତଳର ବାହାର ଅଭିମୁଖୀ ଉତ୍ପନ୍ନ ହୋଇଥାଏ । ତାପରେ ଦୁଇଅର ନିରୀକ୍ଷଣ କରାଯାଏ । ପ୍ଲେଟମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ କୌଣସି ଦତ୍ତ ବିଦ୍ୟୁତ ତୀବ୍ରତା $\vec{E}$ ନେଇ ଚୁମ୍ବକୀୟ ପ୍ରେରଣ $\vec{B}$ କୁ ବଦଳାଇ ମୂଳସ୍ଥାନ O ଠାରେ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛକୁ ପହଞ୍ଚାଇ ଦିଆଯାଏ । ତାପରେ ବିଦ୍ୟୁତକ୍ଷେତ୍ର ପାଇଁ ନିମ୍ନମୁଖୀ ବଳ $e\vec{E}$ ଓ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ଦ୍ୱାରା ସୃଷ୍ଟ ବଳ $e\vec{V}\times\vec{B}$ ସମତୁଲ୍ୟ କରାଯାଏ । ତେଣୁ $e\vec{E} = ev\vec{B}$ ଏବଂ

$$v = \frac{\vec{E}}{\vec{B}} \qquad (୭.୫)$$

ତେଣୁ ପ୍ରଥମ ନିରୀକ୍ଷଣ କଣିକାମାନଙ୍କର ଗତିବେଗ v କୁ ମାପ କରିବାରେ ସାହାଯ୍ୟ କରେ; ଛକା ହୋଇ ରହିଥିବା ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ର ଓ ଚୁମ୍ବକୀୟ କ୍ଷେତ୍ର ଗତିବେଗ ନିର୍ବାଚକ ଭାବରେ କାର୍ଯ୍ୟ କରିଥାଏ ।

ତାପରେ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରକୁ କାଢ଼ି ନିଆଯାଏ, କେବଳ ବିଦ୍ୟୁତ କ୍ଷେତ୍ର ଦ୍ୱାରା ହେଉଥିବା ବିକ୍ଷେପଣ OO' କୁ ମାପ କରାଯାଏ । ଏଥିରୁ କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ପ୍ଲେଟ୍‌ମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ l ଦୂରତା ଅତିକ୍ରମ କଲାବେଳେ ହୋଇଥିବା ବିକ୍ଷେପଣ OO' ହିସାବ କରାଯାଇ ପାରିବ । ଏହି ବିକ୍ଷେପଣ l/v ସମୟ ମଧ୍ୟରେ ସମତ୍ୱରଣ $a_y = e\vec{E}/m$ ର ପ୍ରଭାବରେ ଘଟିଥାଏ; ତେଣୁ

$$y_1 = \frac{1}{2}\vec{E}\frac{e}{m}\left(\frac{l}{v}\right)^2 \qquad (୭.୭)$$

ଏଥିରୁ e/m ହିସାବ କରିହୁଏ ।

ଏତଦ୍‌ବ୍ୟତୀତ e/m ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରି ଥମସନ୍ ଦେଖିଲେ ଯେ, ଏହା ନଳୀ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ଗ୍ୟାସ (ବାୟୁ H_2 ବା CO_2) ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେନାହିଁ । ସେହିପରି ଏହି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ (Al, Fe ବା Pt) ଉପରେ ମଧ୍ୟ ନିର୍ଭର କରେନାହିଁ । ତାଙ୍କର ଶେଷ ମୂଲ୍ୟ ହେଲା $e/m = 1{\cdot}7 \times 10^{11}$ c/kg । ଏହି ମୂଲ୍ୟ ଲିମାନ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରିଥିବା ଆଲୋକ ବିକିରଣରେ ଅଂଶ ଗ୍ରହଣକାରୀ କଣିକାମାନଙ୍କ ପାଇଁ ମିଳିଥିବା ମୂଲ୍ୟ ସହ ପ୍ରାୟ ସମାନ । ବୈଦ୍ୟୁତିକ ବିଶ୍ଳେଷଣରେ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପାଇଁ ମିଳିଥିବା e/m ମୂଲ୍ୟଠାରୁ ଏହା ବହୁତ ଅଧିକ ।

6·5 ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ଚାର୍ଜ :

ଥମସନଙ୍କ କାର୍ଯ୍ୟର ଅଲ୍ପଦିନ ଆଗରୁ ଗ୍ୟାସୀୟ ଆୟନମାନଙ୍କ (ଯେପରି ଆୟନ ଏକ୍ସ-ରେ ଦ୍ୱାରା ଗ୍ୟାସରେ ଉତ୍ପନ୍ନ ହୋଇଥାଏ) ଉପରେ କାର୍ଯ୍ୟ ଆରମ୍ଭ ହୋଇଯାଇଥିଲା । ସେମାନଙ୍କର ଚାର୍ଜ ମାପ କରିବାପାଇଁ ଟାଉନ୍‌ସେଣ୍ଡ, ଥମସନଙ୍କ ଲାବରେଟରୀରେ କାର୍ଯ୍ୟ କରି ସଂତୃପ୍ତ ବାୟୁରେ ଆୟନମାନଙ୍କ ଚାରିପଟେ ତିଆରି ହେଉଥିବା ବାଦଲକୁ ବ୍ୟବହାର କରିଥିଲେ । ବାଦଲର ପତନ ହାର ମାପ କରି ଓ ଗୋଟିଏ viscous ମାଧ୍ୟମ ପାଇଁ ଗୋଲକମାନଙ୍କର ବାଧାପ୍ରାପ୍ତ ପତନ ଲାଗି ବ୍ୟବହୃତ ଷ୍ଟୋକଙ୍କ ନିୟମକୁ ବ୍ୟବହାର କରି, ସେ ବିନ୍ଦୁମାନଙ୍କର ଆକାର ନିରୂପଣ କରିବାକୁ ସମର୍ଥ ହୋଇଥିଲେ । ବାଦଲରେ ଥିବା ମୋଟ ଜଳ ପରିମାଣ ମାପ କରି ସେ ଏଥିରୁ ବାଦଲରେ ଥିବା ବିନ୍ଦୁମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ହିସାବ କଲେ । ସେ ଅନୁମାନ କଲେ ଯେ, ପ୍ରତି ବିନ୍ଦୁରେ ଗୋଟିଏ ମାତ୍ର ଆୟନ ଥାଏ; ତେଣୁ ବାଦଲରେ ଥିବା ମୋଟ ଚାର୍ଜ ମାପ କରି ସେ ଗୋଟିଏ ଆୟନରେ ଥିବା ଚାର୍ଜ ପରିମାଣ ବାହାର କରିବାକୁ ସମର୍ଥ ହୋଇଥିଲେ । ଏହି ଚାର୍ଜ ପାଇଁ ସେ ପ୍ରାୟ 3×10^{-10} ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଏକକ ମୂଲ୍ୟ ପାଇଥିଲେ । ଥମସନ୍ କେତେକ ପରିବର୍ତ୍ତନ ସହ ଏହି ପରୀକ୍ଷା ପୁଣି ଥରେ କରି $6{\cdot}5 \times 10^{-10}$ esu ($2{\cdot}2 \times 10^{-19}$ C) ମୂଲ୍ୟ ପାଇଲେ ।

ଥମସନ୍ ଅନୁମାନ କରିଥିଲେ ଯେ, ଗ୍ୟାସୀୟ ଆୟନରେ ଚାର୍ଜ ତାଙ୍କର କାଥୋଡ଼ କଣିକାମାନଙ୍କ ସହ ସମାନ । ତେଣୁ, ଏହା ସ୍ପଷ୍ଟ ଯେ, କାଥୋଡ଼ କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ପୂର୍ବରୁ

ଅଜଣା ସ୍ୱଳ୍ପ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବିଶିଷ୍ଟ କଣିକା । ଏହାକୁ ସେ ଅଣୁକୋଷ ବା ଆଦ୍ୟ ପରମାଣୁ ବୋଲି କହୁଥିଲେ । ଏହି କଣିକାମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଇଂରେଜ ଲେଖକମାନେ ବହୁବର୍ଷ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଅଣୁକୋଷ ନାମଟି ବ୍ୟବହାର କରୁଥିଲେ ଏବଂ ଇଲେକ୍ଟ୍ରି ଶବ୍ଦଟିକୁ, ଷ୍ଟୋନିଙ୍କର ପ୍ରଥମ ଧାରଣା ଅନୁସାରେ, ଅଣୁକୋଷରେ ବା ଏକ ଭାଲେନ୍ସି ବିଶିଷ୍ଟ ଆୟନରେ ଥିବା ଚାର୍ଜ ପରିମାଣକୁ ବୁଝାଇବାପାଇଁ ବ୍ୟବହାର କରୁଥିଲେ । କିନ୍ତୁ ଲରେଞ୍ଜଙ୍କ ସମେତ ଅନ୍ୟମାନେ ସେହି ଅଣୁକୋଷଗୁଡ଼ିକୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବୋଲି କହୁଥିଲେ, ଏବଂ ଏହି ବ୍ୟବହାର ଶେଷରେ ସର୍ବତ୍ର ଗୃହୀତ ହୋଇଥିଲା । ସାଧାରଣ ଭାବରେ ଗୃହୀତ ହୋଇଥିଲା ଯେ, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ-ଗୁଡ଼ିକ ସବୁ ପରମାଣୁର ଅଂଶ-ବିଶେଷ ଏବଂ ସେମାନଙ୍କର ଦ୍ୱାରା ବିକିରିତ ଆଲୋକ ପାଇଁ ଦାୟୀ । ଏହାପରେ କାଥୋଡ଼୍ ରଶ୍ମି ପାଇଁ ମିଳୁଥିବା e/m ଓ ଜିମାନ ପ୍ରଭାବରୁ ଦୋଳାୟମାନ କଣିକାମାନଙ୍କ ପାଇଁ ମିଳୁଥିବା e/m ସମାନ ହେଉଥିବା କଥାଟି ବୁଝାଯାଇପାରିଥିଲା । ଏହାପରେ ଗୋଟିଏ ଧାରଣା ନେଇ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ପରସ୍ପର ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ ନଥିବା ଘଟଣା ବୁଝାଯାଇପାରିଲା ।

ଆୟନୀୟ ଚାର୍ଜ ମାପ କରିବାର ଗୋଟିଏ ଅଧିକ ବିଶ୍ୱାସଯୋଗ୍ୟ ପ୍ରଣାଳୀ ମିଲିକାନ 1909 ମସିହାରେ ଆବିଷ୍କାର କରିଥିଲେ । ସେ ଦେଖିଲେ ଯେ, ଆୟନୀଭୂତ ବାୟୁ ମଧ୍ୟରେ କ୍ଷୁଦ୍ର କ୍ଷୁଦ୍ର ତୈଳବିନ୍ଦୁଗୁଡିକ ଗୋଟିଏ ଅଣୁବୀକ୍ଷଣ ଯନ୍ତ୍ରରେ ଦେଖାଗଲେ, ବହୁ ସମୟରେ ଚାର୍ଜ ଗ୍ରହଣ କରିଥାଏ ଓ ସେତେବେଳେ ଉପଯୁକ୍ତ ବିଦ୍ୟୁତକ୍ଷେତ୍ର ପ୍ରୟୋଗ କରି ଏଗୁଡ଼ିକୁ ଧରି ରଖାଯାଇପାରେ; ବା ଉପରକୁ ବା ତଳକୁ ତ୍ୱରାନ୍ୱିତ କରାଯାଇ ପାରେ । ଯେତେବେଳେ ଏହି ବିନ୍ଦୁଗୁଡ଼ିକରେ ଚାର୍ଜ ନଥାଏ, ସେତେବେଳେ ସେଗୁଡ଼ିକ ଆସ୍ତେ ଆସ୍ତେ ସମବେଗରେ ତଳକୁ ଆସନ୍ତି, ସେମାନଙ୍କର ଓଜନ ସ୍ଥିରପଟର ବାୟୁର ଶ୍ୟାନତା (viscosity) ଦ୍ୱାରା ସମତୁଲ ହୋଇ ଯାଇଥାଏ । ସେମାନଙ୍କର ତଳକୁ ଖସିବା ହାର ନିରୀକ୍ଷଣ କରି ମିଲିକାନ ବିନ୍ଦୁମାନଙ୍କର ଆକାର ଓ ଓଜନ ସ୍ଥିର କରିବାକୁ ସମର୍ଥ ହୋଇଥିଲେ । ଷ୍ଟୋକଙ୍କ ନିୟମ ଅନୁସାରେ η coefficient of viscosity ବିଶିଷ୍ଟ ଏକ ଦ୍ରବ୍ୟରେ ଏକ ଅପରିବର୍ତ୍ତିତ ସ୍ୱଳ୍ପ ଗତିବେଗ v_0ରେ a ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ଗୋଲକ ଗତି କଲେ ତାହା ଏକ ବାଧା ବଳ $F=6\pi\eta a v_0$ ଅନୁଭବ କରିବ । ଯଦି ଏହି ବଳକୁ ଗୋଟିଏ କଣିକାର ଓଜନ ସହିତ ସମାନ କରିବା (ତେଲର

ସାନ୍ଦ୍ରତା ρରେ ପ୍ରକାଶ କଲେ କଣିକାଟି ଓଜନ ହେବ $\frac{4}{3}\pi a^3 \rho g$), ତେବେ ଆମେ ପାଇବା

$$\frac{4}{3}\pi a^3 \rho g = 6\pi \eta a v_0 \qquad (୬'୭)$$

ମନେକର ବର୍ତ୍ତମାନ କଣିକାଟି q ଚାର୍ଜ ଗ୍ରହଣ କଲା ଓ ସେଠାରେ ଗୋଟିଏ ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ର E ଊର୍ଦ୍ଧ୍ୱଧୀର ଭାବରେ ପ୍ରୟୋଗ କରାଗଲା । ତେଣୁ ଓଜନ ସାଙ୍ଗକୁ ଗୋଟିଏ ବଳ $q\vec{E}$ ଯୋଗ ହୋଇଗଲା । ତେଣୁ ଆମେ ପାଇବା

$$\frac{4}{3}\pi a^3 \rho g + q\vec{E} = 6\pi \eta a v_1 \qquad (୬'୮)$$

ଏଠାରେ v_1 ହେଲା ଅପରିବର୍ତ୍ତିତ ପତନର ନୂତନ ଗତିବେଗ । ଏହି ସମୀକରଣମାନଙ୍କରୁ ଆମେ ପାଇବୁ

$$q\vec{E} = 6\pi \eta a (v_1 - v_0)$$

ଏହି ସମୀକରଣରେ aର ମୂଲ୍ୟ ସମୀକରଣ (୬·୭)ରୁ ଆଣି ବସାଇ ଓ q ପାଇଁ ସମାଧାନ କଲେ, ଆମେ ପାଇବା

$$q = 6\pi \eta^{\frac{3}{2}} (v_1 - v_0)\left(\frac{q v_0}{2\rho g}\right)^{\frac{1}{2}} \frac{1}{E} \qquad (୬'୯)$$

ଏହି ଶେଷ ଉକ୍ତିରେ ପ୍ରତ୍ୟେକ ରାଶି ଜଣାଥିବାରୁ qକୁ ହିସାବ କରି ବାହାର କରାଯାଇ ପାରେ ।

ମିଲିକାନ ଦେଖିଲେ, ଯେ ତାଙ୍କର ପରୀକ୍ଷା ଫଳରୁ ଏପରି ହିସାବ କରାଯାଇଥିବା ଚାର୍ଜ କୌଣସି ଗୋଟିଏ କ୍ଷୁଦ୍ରତମ ଚାର୍ଜର ସର୍ବଦା ଗୁଣିତକ ହେଉଅଛି; ଏହି କ୍ଷୁଦ୍ରତମ ଚାର୍ଜ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଚାର୍ଜ ବୋଲି ଅନୁମାନ କରାଗଲା । ଏହି କ୍ଷୁଦ୍ରତମ ଚାର୍ଜ ପରିମାଣ $-e$ ବୋଲି ସେ ପ୍ରକାଶ କଲେ; ଏଠାରେ $-e = 4{\cdot}774 \times 10^{-10}$ esu

$$= 1{\cdot}591 \times 10^{-19}\ \mathrm{C}\ ।$$

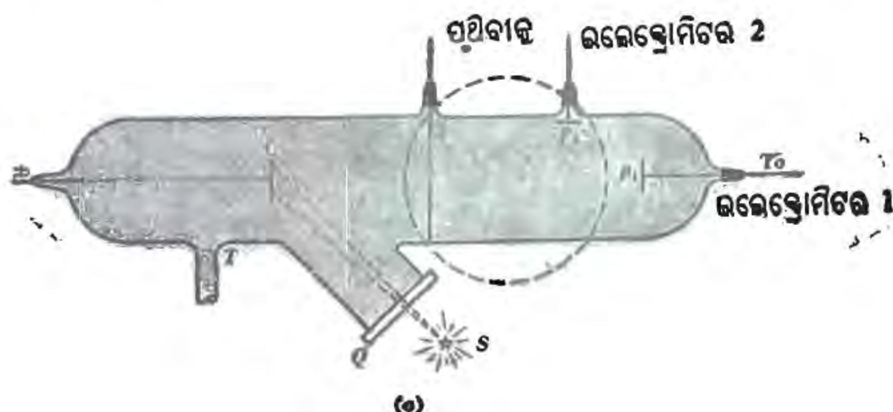
ଏହାର ପରେ କୋଲ୍ଡ଼ଏବର୍ଗ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଏହି ମୂଲ୍ୟ ଗ୍ରହଣ କରାଯାଇଥିଲା । ତେଣୁ, ୧୯୨୮ ମସିହାରେ ବେକ୍‌ଲିନ ଦେଖାଇଲେ ଯେ, ଗୋଟିଏ ଛକା ଗ୍ରେଟିଂରେ ମାପ କରାଯାଇଥିବା ଏକ୍ସରେର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ କାଲସାଇଟ୍ ସ୍ଫଟିକ ସାହାଯ୍ୟରେ ମାପ କରାଯାଇଥିବା ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ସହ ସମାନ ହେବାକୁ ହେଲେ e ପାଇଁ ମିଲିକାନ୍ ଦେଇଥିବା ମୂଲ୍ୟକୁ ଶତକଡ଼ା 0·4 ବଢାଇବାକୁ ହେବ । ଏପରି ତାରତମ୍ୟ ହେବାର କାରଣ ସମୀକରଣ (6·9)ରେ ଥିବା ηର ଅର୍ଥାତ୍ ବାୟୁର ଭିସ୍କୋସିଟିର ମୂଲ୍ୟ ମିଲିକାନ୍ ଅତି କମ୍ ନେଇଥିଲେ ବୋଲି ପରେ ଜଣାଗଲା । ଉନ୍ନତ ପ୍ରଣାଳୀରେ ମାପ କରିବାରୁ ηର ମୂଲ୍ୟ ମିଲିକାନ ନେଇଥିବା ମୂଲ୍ୟରୁ ପ୍ରାୟ ଶତକଡ଼ା 0·5 ଅଧିକ ବୋଲି ଜଣାଗଲା, ଫଳରେ ତୈଳବିନ୍ଦୁ ପରୀକ୍ଷାରୁ eର ମୂଲ୍ୟ $1{\cdot}602\times10^{-19}$ C ମିଳିଲା ।

ତେବେ, ଏଣିକି ସର୍ବଜନ ଗୃହୀତ ହେଉଛି ଯେ ଏକ୍ସରେରୁ ପ୍ରଧାନତଃ ଯାହାର ମୂଲ୍ୟ ମିଳୁଛି, ତାହା ହେଲା N_A, ଏକ କିଲୋଗ୍ରାମ ପରମାଣୁରେ ଥିବା ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା; ସେଥିରୁ $e = 10^3F/N_A$ ବୋଲି ହିସାବ କରାଯାଉଅଛି, ଏଠାରେ F ହେଲା ଫାରାଡ଼େ (ଅନୁ: ୬·୧)ର ମୂଲ୍ୟ । ଏହିପରି ମିଳୁଥିବା eର ମୂଲ୍ୟର ସୂକ୍ଷ୍ମତା ତୈଳବିନ୍ଦୁ ପରୀକ୍ଷାରେ ମିଳୁଥିବା ସେହି ମୂଲ୍ୟଠାରୁ ଅଧିକ । ତଥାପି ମିଲିକାନଙ୍କର କାର୍ଯ୍ୟର ମୌଳିକ ପ୍ରାଧାନ୍ୟ ରହିଅଛି । ସେ ଦେଖାଇଲେ ଯେ, ଆୟନୀଭୂତ ଗ୍ୟାସମାନଙ୍କରେ ବିଦ୍ୟୁତ ଚାର୍ଜଗୁଡ଼ିକ ଗୋଟିଏ ମୌଳିକ ଏକକର ଗୁଣିତକ ଭାବରେ ଦେଖାଯାନ୍ତି; ସେ ପାଇଥିବା ମୂଲ୍ୟର ଏକ୍ସରେ ପରୀକ୍ଷାରୁ ମିଳୁଥିବା ମୂଲ୍ୟ ସହିତ ବିଶେଷ ମେଳ ଘଟୁଥିବାରୁ ଏକ୍ସରେ ପରୀକ୍ଷାରୁ ମିଳୁଥିବା eର ମୂଲ୍ୟ ହିସାବ ପ୍ରଣାଳୀର ସଠିକତା ପ୍ରତିପାଦିତ ହେଲା ।

6·6 ଫଟୋ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ :

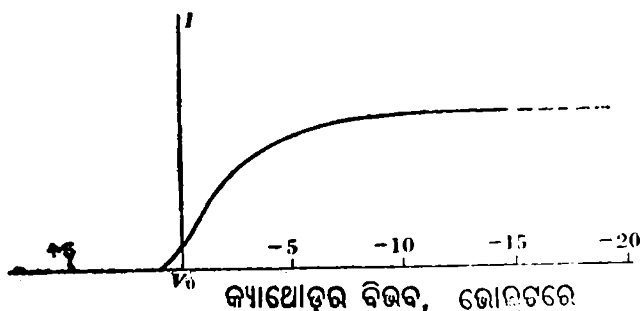
ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଆବିଷ୍କାର ହେବାରୁ ଅନୁମାନ କରାଗଲା ଯେ ଫଟୋ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ପ୍ରଭାବ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକର ନିଷ୍କାସନ ଲାଗି ଘଟିଥାଏ । ଏହି ଅନୁମାନର ସତ୍ୟତା 1900ରେ ଲେନାର୍ଡ ପ୍ରମାଣ କରିଥିଲେ । ଗୋଟିଏ ଜ୍ଞାତ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରରେ "ଫଟୋ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ରଶ୍ମି"ର ବିକ୍ଷେପଣ ମାପ କରି ସେ e/mର ଯେଉଁ ମୂଲ୍ୟ ପାଇଲେ ତାହା ଗୁଣାତ୍ମକ ଭାବରେ ଥମସନ୍ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ପାଇଥିବା ମୂଲ୍ୟ ସହିତ ମିଶିଯାଇଥିଲା । ଫଟୋ

ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର e/m ମାପ କରିବାପାଇଁ ଲେନାର୍ଡଙ୍କ ପ୍ରଣାଳୀର ମୌଳିକ ଯନ୍ତ୍ରଗୁଡ଼ିକ ସୂକ୍ଷ୍ମରୁ ସୂକ୍ଷ୍ମତର କରାଯାଇ ସ୍ୱର୍ଣ-କଣିକା ଭୌତିକାରେ ବିଶେଷ ଭାବରେ ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇଅଛି । ତାଙ୍କର ଯନ୍ତ୍ରପାତି ଚିତ୍ରାକାରରେ 6·5କରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଗୋଟିଏ କାଚନଳୀ, ପାର୍ଶ୍ୱନଳ T ଦେଇ ଶୂନ୍ୟ କରାଯାଇଅଛି । ଏଥିରେ C ଗୋଟିଏ ଆଲୁମିନିୟମ କାଥୋଡ୍ । ଏହା ଗୋଟିଏ ସ୍ପାର୍କ Sରୁ ଅତି ବାଇଗେଣି ଆଲୋକ ଦ୍ୱାରା ଆଲୋକିତ ହୋଇ ପାରୁଛି । ଏହି ଆଲୋକ ଗୋଟିଏ କ୍ୱାର୍ଜ୍ ପ୍ଲେଟ୍ Q ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଗତି କରି ପାରୁଛି । ଗୋଟିଏ ପରଦା Aରେ କେନ୍ଦ୍ର ସ୍ଥଳରେ ଗୋଟିଏ ଛିଦ୍ର କରାଯାଇଅଛି ଓ ଏହାକୁ ପୃଥିବୀ ସହିତ ଯୋଗ କରାଯାଇଅଛି, ଏହା ଆନୋଡ୍‌ର କାମ କରୁଅଛି । P_1 ଓ P_2 ଦୁଇଟି ପ୍ଲେଟ ପ୍ଲେଟ ଧାତବ ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋଡ୍ ଏଗୁଡ଼ିକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋମିଟରମାନଙ୍କୁ ଯୋଗ କରାଯାଇଅଛି । ଯେତେ C ଆଲୋକିତ ହୋଇ କେତେକ ଭୋଲ୍ଟ ବିଯୁକ୍ତ ବିଭବକୁ ସ୍ୱର୍ଣ କରାଯାଇଥାଏ, ଫଟୋ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସବୁ ବାହାରେ ଓ ସେଗୁଡ଼ିକ ଆନୋଡ୍ A ଆଡ଼କୁ ତ୍ୱରାନ୍ୱିତ ହୋଇଥାଏ । A ରେ ଥିବା ଛିଦ୍ରବାଟେ କେତୋଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗତି କରିଥାଏ ଏବଂ ତାପରେ ସମବେଗରେ P_1 ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋଡ୍ ଆଡ଼କୁ ଗତି କରିଥାଏ; ସେଠାରେ ଏଗୁଡ଼ିକ ଗୃହୀତ ହେବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋମିଟର 1 ଦ୍ୱାରା ସୂଚିତ ହୋଇଥାଏ ।



(କ)

[ଚିତ୍ର ୬.୫ (କ) ଫଟୋଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର e/m ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରିବାପାଇଁ ଲେନାର୍ଡଙ୍କ ଯନ୍ତ୍ରପାତି ।]



(ଖ) କାଥୋଡ଼ର ବିଭବ ଅନୁସାରେ ଫଟୋ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ସ୍ରୋତରେ ତାରତମ୍ୟ ।]

ଯଦି ହୁଏ 'ହେଲ ହୋଲ୍ଜ' କଏଲ ସାହାଯ୍ୟରେ (ବିନ୍ଦୁ ଚକ୍ରିତ ବୃତ୍ତ ସାହାଯ୍ୟରେ ପ୍ରକାଶିତ) A ଓ P_1 ମଧ୍ୟସ୍ଥ ଅଞ୍ଚଳରେ ପାଠକଙ୍କ ଆଡ଼କୁ ମୁହଁ କରିଥିବା ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ସୃଷ୍ଟି କରାଯାଏ, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଗୋଟିଏ ଗୋଲାକାର ପଥରେ ଉପରଆଡ଼କୁ ବିକ୍ଷେପିତ ହୋଇଥାନ୍ତି ଏବଂ ଯଦି କ୍ଷେତ୍ରର ଯଥେଷ୍ଟ ତୀବ୍ରତା ଥାଏ, ତେବେ P_2 ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋଡ଼ରେ ଆଘାତ କରିଥାନ୍ତି ।

ଲେନାର୍ଡ଼ ପ୍ରଥମେ ଆନୋଡ଼ରେ ପହଞ୍ଚୁଥିବା ସ୍ରୋତ ଓ Cରେ ପ୍ରୟୋଗ କରାଯାଇଥିବା ବିଭବ V ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ସମ୍ବନ୍ଧ ବିଷୟରେ ଗବେଷଣା କରିଥିଲେ । ଯେତେବେଳେ V କେତେକ ଯୁକ୍ତ ଭୋଲ୍ଟ ନେଇଥିଲା, ସେତେବେଳେ କୌଣସି ଫଟୋ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ସ୍ରୋତ ନଥିଲା । କିନ୍ତୁ ଯେତେବେଳେ V ପ୍ରାୟ 2V ଯୁକ୍ତକୁ କମି ଆସିଲା, ସ୍ୱଳ୍ପ ସ୍ରୋତ ଦେଖାଦେଲା । ଏଥିରୁ ଜଣାଗଲା ଯେ, କେବଳ ଫଟୋ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନେ କାଥୋଡ଼ରୁ ମୁକ୍ତ ହୋଇନାହାନ୍ତି, ସେମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ କେତେକ ଯଥେଷ୍ଟ ଗତିବେଗରେ ନିଷ୍କାସିତ ହୋଇ 2V ମନ୍ଦନ ବିଭବକୁ ଅତିକ୍ରମ କରିଥାନ୍ତି । ଯେତେବେଳେ V ଶୂନ୍ୟକୁ କମିଯାଏ ଓ ବିଯୁକ୍ତ ହୋଇଯାଏ, ସେତେବେଳେ ସ୍ରୋତ ଅତ୍ୟନ୍ତ ଅଧିକ ହୋଇଯାଏ, ମାତ୍ର V ବିଯୁକ୍ତ 15 ବା 20ରେ ପହଞ୍ଚିଲେ ଏହା ତୃପ୍ତ ହୋଇଥାଏ, ଆଉ ବଢ଼େ ନାହିଁ । ଚିତ୍ର ୭.୫ଖରେ ଏହି ଫଳଗୁଡ଼ିକ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । V_0 ହେଲା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ନିଷ୍କାସନକୁ ବାଧା ଦେବାଭଳି ଯୁକ୍ତ ବିଭବ ।

e/mର ନିର୍ଣ୍ଣୟ ପ୍ରଧାନତଃ ନିମ୍ନ ପ୍ରଣାଳୀରେ କରାଯାଇଥାଏ । V_0 ତୁଳନାରେ ଅଧିକ ଏକ ବିଭବ V କାଥୋଡ୍ Cରେ ପ୍ରୟୋଗ କରାଯାଏ । ଫଟୋ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଆନୋଡ୍‌ରେ ପହଞ୍ଚି ଯେତେ ଗତିଜ ଶକ୍ତି ଲାଭ କରିବ, ତାହା ମୋଟାମୋଟି ଭାବରେ

$$eV = \frac{1}{2}mv^2$$

ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ; ଏଠାରେ v ହେଲା Aଠାରେ ପହଞ୍ଚିବାର ଗତିବେଗ (ଚିତ୍ର ୬'୫କ) । Aକୁ ତ୍ୟାଗ କରିବା ପରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗୋଟିଏ ସମଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଗତି କରୁଥାଏ ବୋଲି ଅନୁମାନ କଲେ, ଏହା ଯେଉଁ ବୃତ୍ତାକାର ପଥରେ ଗତି କରିବ ତାହା

$$evB = \frac{mv^2}{R}$$

ସମୀକରଣ ଅନୁସରଣ କରିବ; ଏଠାରେ B ହେଲା ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋନଟିକୁ P_1ରେ ପହଞ୍ଚାଇବା ପାଇଁ ଠିକ୍ ଦରକାର ପରିମାଣର ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରର ତୀବ୍ରତା, ଏବଂ R ହେଲା ଅନୁରୂପ ବୃତ୍ତାକାର ପଥର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ—ଏହାର ଯନ୍ତ୍ରର ଜ୍ୟାମିତିରୁ ସ୍ଥିର କରାଯାଇଥାଏ । ଉକ୍ତ ଦୁଇ ସମୀକରଣରୁ ଆମେ ପାଇବା,

$$e/m = \frac{2V}{B^2R^2} \qquad (୬'୧୦)$$

6·7 ଫଟୋ ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରଣାଳୀ କଣ ?

ଫଟୋ ବିଦ୍ୟୁତ ନିଷ୍କାସନର ଏକ ପ୍ରଣାଳୀ ଅନୁମାନ କରିବା ପୁରାତନ ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ଅତି ଦୁଃସାଧ ହେଲା । ଆଗରୁ ଅନୁମାନ କରାଯାଇଥିଲା ଯେ ଧାତୁମାନଙ୍କରେ ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟସ୍ଥ ସ୍ଥାନମାନଙ୍କରେ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସବୁ ରହିଅଛି ଏବଂ ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ରଦ୍ୱାରା ଏହି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସଞ୍ଚାଳନ ବିଦ୍ୟୁତ ସ୍ରୋତର କାରଣ । ଗୋଟିଏ ଧାତୁ ମଧ୍ୟରେ ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକ ତରଙ୍ଗ ପ୍ରବେଶ କଲେ ଏହି ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଉତ୍ତେଜିତ ହୋଇଥାନ୍ତି ଏବଂ ସହଜରେ ଅନୁମାନ କରାଯାଇପାରିବ ଯେ, ପୃଷ୍ଠଦେଶର ନିକଟରେ ଥିବା କୌଣସି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଯଥେଷ୍ଟ ଶକ୍ତି ଲାଭ କରି ପୃଷ୍ଠରୁ ବାହାରି ଯାଇ ପାରିବ ।

କିନ୍ତୁ, ଏପରି ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଥିବା ଫଟୋଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ କିଳା ଆଲୋକ ପଡ଼ୁଥିବାବେଳେ କମ୍ ଗତିଜ ଶକ୍ତିରେ ଓ ତୀବ୍ର ଆଲୋକ ପଡ଼ୁଥିବାବେଳେ ଅଧିକ ଗତିଜ ଶକ୍ତିରେ ନିଷ୍କାସିତ ହେବେ; ମାତ୍ର ପରୀକ୍ଷାରୁ ଦେଖାଯାଉଛି, ସେମାନଙ୍କର ଗତିଜ ଶକ୍ତି ଆଲୋକର ତୀବ୍ରତା ଉପରେ ନିର୍ଭରଶୀଳ ନୁହେଁ । ଅନ୍ୟ ପକ୍ଷରେ, ସେମାନଙ୍କର ଶକ୍ତି ଆଲୋକର ସ୍ପନ୍ଦନ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ ।

ଶେଷ ଦୁଇଟି ଘଟଣା ଏକ ସମୟରେ ବିଚାର କଲେ ଆମେ ଏହି ବିକଳ୍ପ ଅନୁମାନରେ ଉପନୀତ ହେବା ଯେ; ଫଟୋ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ପରମାଣୁର ଆଭ୍ୟନ୍ତରରୁ ଆସିଥାଏ ଏବଂ ସେମାନଙ୍କର ନିଷ୍କାସନ ସଂଘାତ ପ୍ରକୃତିର ଏକ ଘଟଣା । ପରମାଣୁ ମଧ୍ୟରେ ଏହା ଆଗରୁ ବହୁ ପରିମାଣର ଶକ୍ତି ନେଇଥାଏ; ଆଲୋକ ପରମାଣୁର ଆଭ୍ୟନ୍ତରରୁ ଏହାକୁ ଟାଣି ଆଣିବାରେ ଗୋଳାପର କାର୍ଯ୍ୟ କରି ପାରିଥାଏ । ତେଣୁ ଏକ ଦତ୍ତ ସ୍ପନ୍ଦନର ଆଲୋକ ସେହି ସ୍ପନ୍ଦନକୁ ଉପଯୁକ୍ତ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକୁ କେବଳ ନିଷ୍କାସନ କରିଥାଏ ଏବଂ ପାରମାଣବିକ ପ୍ରଣାଳୀଟି ଏପରି ହେବ ଯେପରିକି ନିଷ୍କାସିତ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନର ଶକ୍ତି ସେହି ସ୍ପନ୍ଦନକୁ ଅନୁପାତୀ ହେବ । କିନ୍ତୁ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ଫଟୋ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ନିଷ୍କାସନରେ ଦେଖାଯାଉଥିବା ସବୁ ସ୍ପନ୍ଦନ ବିଶିଷ୍ଟ ସଂସ୍ଥାପନ ଧାରଣ କରିଥାନ୍ତି, ଏହା ବିଶ୍ୱାସ କରିବା କଷ୍ଟ । ଆଉ ମଧ୍ୟ ଫଟୋ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ଆଲୋକର ତୀବ୍ରତାକୁ ଅନୁପାତୀ, ଏ ଘଟଣାଟି ବୁଝାଇବା ବାକି ରହିଲା ।

ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକ ଫଟୋବୈଦ୍ୟୁତିକ ଶକ୍ତି ସିଧାସଳଖ ଆପତିତ ଆଲୋକର ଶକ୍ତିରୁ ଆସୁଛି ବୋଲି ସିଦ୍ଧାନ୍ତରେ ଉପନୀତ ହେବାପାଇଁ ବାଧା କରୁଛି, କିନ୍ତୁ ଏଥିପାଇଁ ଆଉ ଗୋଟିଏ ଅସୁବିଧାର ସମ୍ମୁଖୀନ ହେବାକୁ ପଡ଼ିବ । ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଏତେ ପରିମାଣର ଶକ୍ତି କିପରି ପାଇପାରିବ, ତାହା ବୁଝିବା କଷ୍ଟକର । ଆଲୋକର ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ, ତରଙ୍ଗସମ୍ମୁଖରେ ଆଲୋକ ତରଙ୍ଗର ଶକ୍ତି ସମ ପରିମାଣରେ ବାଣ୍ଟି ହୋଇଯାଇଥାଏ । ହିସାବ କରିବାପାଇଁ ଅନୁମାନ କରିବା ଯେ, ସେହି ଧାତୁର ପୃଷ୍ଠତଳରେ ଥିବା ପରମାଣୁଟିର ସମସ୍ତ କ୍ଷେତ୍ରଫଳରେ ଯେତେ ଆଲୋକ ପଡ଼ିବ, ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଟି ସେ ସମସ୍ତ ଶୋଷଣ କରି ପାରିବ । ଏଥିରୁ ସହଜରେ ହିସାବ କରାଯାଇ ପାରିବ ଯେ, ଗୋଟିଏ ଫଟୋ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନକୁ ସର୍ବାଧିକ ନିଷ୍କାସନ ଶକ୍ତି $\frac{1}{2}mv_m^2$, ଲାଭ

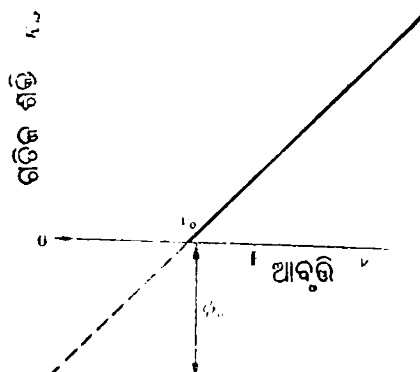
କରିବାପାଇଁ ସୋଡ଼ିୟମରୁ ସହଜରେ ମାପ କରାଯାଇ ପାରୁଥିବା ଫଟୋ ବିଦ୍ୟୁତ ନିଷ୍କାସନରେ ଦରକାର ହେଉଥିବା ମଲିନ ଆଲୋକର ଶକ୍ତିତାରେ 100ଦିନ ଲାଗିବ । ଯଦି ପରମାଣୁ ମଧ୍ୟରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ଏକରଙ୍ଗୀ ଆଲୋକ ସହିତ ସଂଘାତରେ ଦୋଳନ ରତ ଥାଏ, ତେବେ ଅବସ୍ଥାର ଉନ୍ନତି ଘଟିବ, କାରଣ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇ ପାରିବ ଯେ, ଗୋଟିଏ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟର ଯଥେଷ୍ଟ ଭଗ୍ନାଂଶରେ ଯେତିକି ଆଲୋକ ପଡିତ ହେବ, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ତାହା ଗ୍ରହଣ କରି ପାରିବ । କିନ୍ତୁ ଏପରି ହେଲେ ହିସାବରୁ ମିଳୁଥିବା ସମୟ 1ମିନିଟରୁ ଅଧିକ ହେବ । ତେଣୁ ଯଦି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗୋଟିଏ ସାଧାରଣ ଶୋଷଣ ପ୍ରଣାଳୀରେ ଶକ୍ତି ଆହରଣ କରିଥାଏ, ତେବେ ଆଲୋକ ପଡ଼ିବା ଆରମ୍ଭ ହେବାଠାରୁ ଫଟୋବୈଦ୍ୟୁତିକ ସ୍ରୋତ ପ୍ରବାହିତ ହେବା ମଧ୍ୟରେ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ତାରତମ୍ୟ ରହିବା ଦରକାର । କିନ୍ତୁ ସୂକ୍ଷ୍ମ ପରୀକ୍ଷାରୁ ଦେଖାଯାଉଛି ଯେ, ଯଦି ଏପରି ତାରତମ୍ୟ ଥାଏ, ଏହା 3×10^{-9} Sରୁ କମ୍ ହେବ ।

୧୯୦୫ରେ ପ୍ରଥମେ ଆଇନଷ୍ଟାଇନ ଫଟୋ ବିଦ୍ୟୁତ ନିଷ୍କାସନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଏକ ପ୍ରଣାଳୀର ସୂଚନା ଦେଇଥିଲେ । ଏହାଦ୍ୱାରା ସେ ପ୍ଲାଙ୍କଙ୍କର ଧାରଣା ଯେ ବିକିରଣ ଓ ବସ୍ତୁ ମଧ୍ୟରେ ଶକ୍ତିର ବିନିମୟ କ୍ୱାଣ୍ଟମରେ $h\nu$ ପରିମାଣରେ (ଅନୁ: ୫·୭) ହୋଇଥାଏ, ତାହାକୁ ଫଟୋ ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରଣାଳୀ ପାଇଁ ଲଗାଇଥିଲେ । ଆଇନଷ୍ଟାଇନ ଅନୁମାନ କଲେ ଯେ, $h\nu$ ବିକିରଣ ଶକ୍ତିର ସମସ୍ତ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଦ୍ୱାରା ଶୋଷିତ ହୋଇଥାଏ । ଏଥିରୁ ମନେ ହେଉଅଛି ଯେ, ବିକିରଣ ଶକ୍ତି ଯେ କେବଳ $h\nu$ ଶକ୍ତିର କ୍ୱାଣ୍ଟମରେ ନିଷ୍କାସିତ ହୁଏ, ତା ନୁହେଁ ; ଏହି ବିକିରଣ ଶକ୍ତି ସ୍ୱଳ୍ପ ସ୍ଥାନରେ ଅବଦ୍ଧ ହୋଇ ରହିଥିବା ଶକ୍ତି ପାକେଟ୍ ହିସାବରେ ଗତି କରେ ଏବଂ ଏକକ ହିସାବରେ ଶୋଷିତ ହୋଇଥାଏ । ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ବିକିରଣର ଏହିପରି ଏକ କ୍ୱାଣ୍ଟମକୁ ଫୋଟନ କୁହାଯାଏ । ଆଇନଷ୍ଟାଇନ ଆହୁ ମଧ୍ୟ ପ୍ରସ୍ତାବ ଦେଇଥିଲେ ଯେ, ଯଦି ଧାତୁରୁ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ନିଷ୍କାସନ କରିବାପାଇଁ ϕ_0 ପରିମାଣର ନିମ୍ନତମ ଶକ୍ତି ଆବଶ୍ୟକ ହୋଇଥାଏ, $h\nu$ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଫୋଟନଦ୍ୱାରା ନିଷ୍କାସିତ ଫଟୋଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ସର୍ବାଧିକ ଶକ୍ତି K_{max}

$$K_{max} = h\nu - \phi_0 \qquad (୭·୧୯)$$

ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହେବ । ଏହା ହିଁ ଆଇନଷ୍ଟାଇନଙ୍କର ଫଟୋ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ସମୀକରଣ । ସେତେବେଳେ କେବଳ ଗୁଣାତ୍ମକ ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ଫଳ ମିଳୁଥିଲା ଓ ସେଥିରୁ ମନେ ହେଉଥିଲା ଯେ, ତାଙ୍କ ସମୀକରଣ ଠିକ୍ କୋଟୀର ପରିମାଣ ବୁଝାଉଥିଲା । କିନ୍ତୁ ପରେ ଏହି ସମୀକରଣ ପରୀକ୍ଷାଦ୍ୱାରା (ଚିତ୍ର ୬·୭) ପ୍ରମାଣିତ ହୋଇଥିଲା । ଏହା ଯେ ଏକସରେ ଅଞ୍ଚଳ କମ୍ପନ୍ରେ ମଧ୍ୟ ଠିକ୍ ତାହା ପ୍ରତିପାଦିତ ହେଲା, ଏକ୍ସରେ ଅଞ୍ଚଳ ଦୃଶ୍ୟମାନ ଆଲୋକ ଅଞ୍ଚଳରେ ସ୍ପନ୍ଦନର ବହୁପ୍ରକାର ଗୁଣ । ଆଧୁନିକ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ତତ୍ତ୍ୱର ଉନ୍ନତିରେ ଆଇନଷ୍ଟାଇନଙ୍କର ଫଟୋ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ସମୀକରଣ ବିଶିଷ୍ଟ ଅଂଶ ଗ୍ରହଣ କରିଅଛି ।

ଆଲୋକକୁ $h\nu$ ଶକ୍ତିର କଣିକା ବା ଫୋଟନମାନଙ୍କର ଏକ ବର୍ଷାଧାରା ବୋଲି ଅନୁମାନ କରି ଏବଂ ଫୋଟନଟିଏ ପୁରାପୂରି ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଦ୍ୱାରା ଶୋଷିତ ହୋଇପାରେ ବୋଲି ମନେ କରି, ଧାତୁମାନଙ୍କରେ ଫଟୋ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ପ୍ରଭାବର ପ୍ରଧାନ ପ୍ରଧାନ ଗୁଣଗୁଡ଼ିକର ଏକ ବର୍ଣ୍ଣନା ହଠାତ୍ ଥାଇ ପାରିଥିଲେ । ଫଟୋ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ପ୍ରଣାଳୀରେ ଦେଖିପାରିବା ଭଳି କୌଣସି ସମୟ ତାରତମ୍ୟ ରହିବା ଉଚିତ ନୁହେଁ; ବିଦ୍ୟୁତ ସ୍ରୋତ ଆଲୋକର ତୀବ୍ରତା ସହିତ ଠିକ ଭାବରେ ଅନୁପାତୀ ହେବା ଦରକାର; ଅର୍ଥାତ୍ ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ କେତେକ ସଂଖ୍ୟକ ଫୋଟନ ଆଘାତ କରୁଛି, ତାକୁ ଅନୁପାତୀ ହେବ; ଏବଂ ଫଟୋ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ଗତିବେଗ ଆଲୋକର ତୀବ୍ରତା ପ୍ରତି ଆଦୌ ନିର୍ଭରଶୀଳ ନୁହେଁ, କାରଣ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଫୋଟନର ଶୋଷଣ ଅନ୍ୟ ଫୋଟନମାନଙ୍କର



[ଚିତ୍ର ୬·୭ ଫଟୋ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସର୍ବାଧିକ ଶକ୍ତିର ଉତ୍ତେଜନକାରୀ ବିକିରଣର ସ୍ପନ୍ଦନ ସହିତ ପରିବର୍ତ୍ତନ]

ଶୋଷଣ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେନାହିଁ । ଆଇନଷ୍ଟାଇନଙ୍କର ସମୀକରଣ ସରଳଭାବରେ ମିଳିଯାଇଥାଏ ।

କିନ୍ତୁ, ଆଲୋକ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଏପରି ଏକ ବୈପ୍ଲବିକ ତତ୍ତ୍ୱର ବହୁ ଅସୁବିଧା ଅଛି । ଯଦି ଆଲୋକକୁ ଫୋଟନମାନଙ୍କର ଏକ "ବର୍ଷାଧାରା" ବୋଲି ଧରାଯାଏ, ତେବେ ସ୍ପନ୍ଦନର ଅର୍ଥ କ'ଣ—ଏହାହିଁ ପ୍ରଥମ କଥା । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ପଡ଼ୁଥିବା ବର୍ଷାବିନ୍ଦୁଗୁଡ଼ିକରେ ପୁନରାବୃତ୍ତିର କୌଣସି ଧାରଣାନାହିଁ । ପ୍ରକୃତରେ, ଗୋଟିଏ ଆଲୋକ ରଶ୍ମିର ସ୍ପନ୍ଦନ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରିବାପାଇଁ ଆମେ ମାପିବା । (୧) ଆଲୋକର ଗତିବେଗ c ଓ (୨) ଆଲୋକକୁ ତରଙ୍ଗ ବୋଲି ଅନୁମାନ କରି ଏହାର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ । ତାପରେ ଆମେ $\nu = c/\lambda$ରୁ ହିସାବ କରିଦେବା । ତେଣୁ ଗୋଟିଏ ଫୋଟନର ଶକ୍ତିର ମୂଲ୍ୟ ଜାଣିବାପାଇଁ ଆମେ ଆଲୋକର ତରଙ୍ଗ ତତ୍ତ୍ୱ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିବା । ଏହାଛଡ଼ା ବ୍ୟତିକରଣର ଘଟଣାଟି ରହିଅଛି । 1802 ମସିହାରେ ୟଙ୍ଗଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଆବିଷ୍କୃତ ହେବା ପରେଠାରୁ ଏହି ଘଟଣା ତରଙ୍ଗ ବ୍ୟତୀତ ଅନ୍ୟ ଧାରଣାଦ୍ୱାରା ବୁଝିବା କେବେ ହେଲେ ସମ୍ଭବ ହୋଇନାହିଁ । କିନ୍ତୁ ଫଟୋବୈଦ୍ୟୁତିକ ଘଟଣାଟି ଏହି ବ୍ୟତିକରଣ ଘଟଣା ପରି ଅକାଟ୍ୟ ଏବଂ ଏହାକୁ ଆଲୋକର ପୁରାତନ ତରଙ୍ଗତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ବୁଝାଯାଇପାରିବନାହିଁ ।

ତେଣୁ 1920ରେ ଭୌତିକବିତ୍ମାନେ ଅବସ୍ଥାଟିକୁ ନିମ୍ନରୂପେ ସଂକ୍ଷେପରେ ପ୍ରକାଶ କରିପାରିଥିଲେ; ଏକପକ୍ଷରେ କେତେଗୁଡ଼ିଏ ଘଟଣା ଅଭେଦ୍ୟ ପ୍ରାଚୀର ପରି ଠିଆ ହୋଇଥିଲା—ଯଥା—ବ୍ୟତିକରଣ, ପାର୍ଶ୍ୱିକରଣ, ପ୍ରକୃତପକ୍ଷେ ସମସ୍ତ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ତତ୍ତ୍ୱ—ଏଗୁଡ଼ିକ ଲାଗି କହିବାକୁ ହେବ ଯେ, ଆଲୋକ ତରଙ୍ଗମାନଙ୍କୁ ନେଇ ଗଠିତ । ପ୍ରାଚୀରର ଅନ୍ୟ ପାର୍ଶ୍ୱରେ ଅନ୍ୟ କେତେକ ଘଟଣା ଦେଖାଯାଉଅଛି—ଫଟୋ-ବୈଦ୍ୟୁତିକ ପ୍ରଭାବ ଓ ସେହିପରି ଅନ୍ୟ ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକ (ପର ଅଧ୍ୟାୟମାନଙ୍କରେ ଆମେ ସେବିଷୟରେ ଆଲୋଚନା କରିବା)—ଏହି ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକ ଲାଗି କହିବାକୁ ହେବ ଯେ, ଆଲୋକ କଣିକାଯୁକ୍ତ ବୋଧହୁଏ ଯେଉଁ ଅବସ୍ଥା ସୃଷ୍ଟି ହେଲା ତାହା ସର୍ବାପେକ୍ଷା ଅଧିକ ପ୍ରହେଳିକାମୟ—ଭୌତିକୀର ଇତିହାସରେ ଏପରି ପ୍ରହେଳିକା କେବେ ଦେଖା ନଥିଲା । ଏ ପ୍ରହେଳିକା ସୃଷ୍ଟି ହେବାର କାରଣ ପୁରାତନ ଭୌତିକ-ବିତ୍ମାନେ ବିଶ୍ୱାସ କରୁଥିଲେ ଯେ, ଗୋଟିଏ ପରିଦୃଶ୍ୟମାନ ହୁଏତ ତରଙ୍ଗ ବା କଣିକା

ହୋଇପାରେ । ତରଙ୍ଗମାନଙ୍କର କଳ୍ପନା ଗୋଟିଏ ଅତି ଉନ୍ନତ ଗାଣିତିକ ତତ୍ତ୍ୱଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇ ଏତେଗୁଡ଼ିଏ ଘଟଣାରେ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ (ଓ ଧ୍ୱନିତରଙ୍ଗ) ବିକିରଣର ଗୁଣକୁ ପାରମାଣବିକ ଭାବରେ ବୁଝାଇ ପାରିଛି ଯେ, ଭୌତିକବିତ୍ମାନେ ଧରି ନେଇଛନ୍ତି ଯେ, ଏହି ବିକିରଣଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରକୃତରେ ତରଙ୍ଗ । ସେହିପରି ପୁରାତନ କଣିକାମାନଙ୍କର ଧାରଣା ବଲ୍ ଓ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ଗତି ବର୍ଣ୍ଣନ କରିବାରେ ସମର୍ଥ ହୋଇଅଛି । କିନ୍ତୁ ଫଟୋ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ପ୍ରଭାବ ଓ ପରେ ବର୍ଣ୍ଣନା କରି ଯାଇଥିବା ଅନ୍ୟ ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକରୁ ଦେଖାଯାଉଅଛି ଯେ, ବିକିରଣର ମଧ୍ୟ କଣିକା-ଗୁଣ ରହିଅଛି; ୧୧ ଅଧ୍ୟାୟରେ ଆମେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକର ତରଙ୍ଗ ଗୁଣ ଥିବା ସମ୍ବନ୍ଧରେ ପ୍ରମାଣ ଦେଇଅଛୁ । ତେଣୁ ଆଧୁନିକ ଧାରଣା ନିମ୍ନ ପ୍ରକାରରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରେ; ପ୍ରକୃତରେ ଏପରି କିଛି ନାହିଁ ଯାହାକୁ କି କେବଳ କଣିକା ବା କେବଳ ତରଙ୍ଗ ଭାବରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରିବ; ବରଂ ପୁରାତନ ଧାରଣା ଅନୁସାରେ ଯେଉଁଗୁଡ଼ିକ କେବଳ କଣିକା ବା ତରଙ୍ଗ ବୋଲି ଧରାଯାଇଥିଲା, ସେ ସମସ୍ତଙ୍କର ତରଙ୍ଗ ଓ କଣିକା, ଉଭୟଗୁଣ ରହିଅଛି ।

ବିଦ୍ୟୁତ୍‌ଚୁମ୍ବକ ବିକିରଣର କଣିକା ଓ ତରଙ୍ଗ ବିଭାବଗୁଡ଼ିକ ଏକ ସମୟରେ ପ୍ରକାଶ ପାଏନାହିଁ, ସାଧାରଣ ଏକା ପରୀକ୍ଷାରେ ସେ ଦୁଇଗୁଣ ପ୍ରକାଶ ପାଏନାହିଁ; ଅବଶ୍ୟ କେତେକ ପରୀକ୍ଷାର ଫଳକୁ ତରଙ୍ଗ ଭାବରେ ଅଥବା କଣିକା ଭାବରେ ବର୍ଣ୍ଣନା କରାଯାଇ ପାରିବ । 1928ରେ ବର (Bohr) ପ୍ରସ୍ତାବ ଦେଲେ ଯେ, ବିକିରଣର ତରଙ୍ଗ ଓ କଣିକା ଧର୍ମ ପରସ୍ପରର ଅନୁପୂରକ ଏବଂ ଗୋଟିଏ ପରୀକ୍ଷାର ଫଳକୁ ବୁଝାଇବାପାଇଁ ଆମେ ଗୋଟିଏ ବା ଅନ୍ୟ ଧର୍ମଟି ଗ୍ରହଣ କରିବା ଦୁଇ ଧର୍ମ ଏକ ସମୟରେ ଗ୍ରହଣ କରିବା ସମ୍ଭବ ନୁହେ । ଏହା ଧାରଣାକୁ ବରଙ୍କର ଅନୁପୂରକ ନିୟମ କହନ୍ତି । ଏହି ଧାରଣା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ଓ ପୁରାତନ ଭୌତିକୀର ସମସ୍ତ କଣିକାଙ୍କ ସମଭାବରେ ପ୍ରଯୁଜ୍ୟ ।

6.8 ଫଟୋ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ନିଷ୍କାସନର ଗୁଣାବଳୀ :

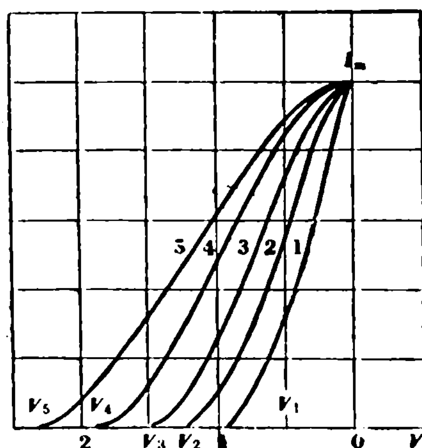
ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନ୍‌ଙ୍କ ତତ୍ତ୍ୱରୁ କେତେଗୁଡ଼ିଏ ସିଦ୍ଧାନ୍ତ ମିଳୁଛି । ଏଗୁଡ଼ିକ ପରେ ପରୀକ୍ଷା ଦ୍ୱାରା ପ୍ରତିଷ୍ଠିତ ହୋଇଥିଲା ।

(୧) ଫଟୋ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ସ୍ରୋତ ନିଷ୍କାସନକାରୀ ପୃଷ୍ଠତଳରେ ଆଲୋକର ତୀବ୍ରତା ପ୍ରତି ଅନୁପାତୀ, ଆପତନ ରଶ୍ମିର ଧର୍ମ ନ ବଦଳିବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଏହା ଠିକ୍ ହେବ। 1916ରେ ଏଲଷ୍ଟର ଓ ଗିଟେଲଙ୍କର ଦେଖାଇଲେ ଯେ, ଏହି ଆନୁପାତିକ ନିୟମ ନିର୍ଭୁଲ ଭାବରେ 1ରୁ 5×10^7 ତୀବ୍ରତା ପରିସର ମଧ୍ୟରେ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହୋଇଥାଏ। ଆପତନ ଆଲୋକର ଗୋଟିଏ ଆବୃତ୍ତି ପାଇଁ ନିଷ୍କାସିତ ଫଟୋ-ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ସଂଖ୍ୟା ପୃଷ୍ଠତଳରେ ପଡ଼ୁଥିବା ଫୋଟନମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ଅନୁପାତୀ।

(୨) ପ୍ରଥମ ଫୋଟନଗୁଡ଼ିକ ପଡ଼ିବା ଓ ଫଟୋ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକର ନିଷ୍କାସନ ମଧ୍ୟରେ କୌଣସି ସମୟ ତାରତମ୍ୟ ନଥାଏ। 1927ରେ ଲରେନ୍ସ ଓ ବିମ୍ସଙ୍କ ପରିମାପ ଦେଖାଇଲା ଯେ, ଏହି ତାରତମ୍ୟ 3×10^{-9} Sରୁ କମ୍।

(୩) ଗୋଟିଏ ଏକରଙ୍ଗୀ ଆଲୋକ ଦ୍ୱାରା କୌଣସି ପୃଷ୍ଠତଳରୁ ନିଷ୍କାସିତ ଫଟୋ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସର୍ବାଧିକ ଗତିଜ ଶକ୍ତି K_{max} ଆପତନ ବିକିରଣର ଆବୃତ୍ତି ସହିତ (ସମୀକରଣ 6·11) ଅନୁସାରେ ବୃଦ୍ଧି ଲାଭ କରିଥାଏ। K_{max}କୁ ଆବୃତ୍ତି νର ଫଳନ ଭାବରେ ଗ୍ରାଫ ଟାଣିଲେ h slope (ଚିତ୍ର ୬·୨) ଓ ଆବୃତ୍ତି ଅକ୍ଷରେ ଛେଦକ (intercept) $\nu_0 = \frac{\phi_0}{h}$ ବିଶିଷ୍ଟ ସରଳ ରେଖାଟିଏ ମିଳିବ। ମିଲିକାନ 1916ରେ ଏହା ଦେଖାଇଥିଲେ। ଏଠାରେ ν_0 ହେଲା "ସଙ୍କଟ" (threshhold) ଆବୃତ୍ତି, ଏହା ତଳକୁ ଆବୃତ୍ତି ନେଲେ କୌଣସି ଫଟୋ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ନିଷ୍କାସିତ ହେବନାହିଁ। ଏହି ସଙ୍କଟ ଆବୃତ୍ତି ν_0 ପୃଷ୍ଠତଳର ଅବସ୍ଥା ଉପରେ ନିର୍ଭର କରି ବହୁ ପରିମାଣରେ ବଦଳିଥାଏ, ସାଧାରଣ ଭାବରେ ଫଟୋବୈଦ୍ୟୁତିକ ସ୍ରୋତ ମଧ୍ୟ ଏହିପରି ବଦଳିଥାଏ। ସାଧାରଣତଃ ν_0 ଅତି ବାଇଗଣୀ ପର ଆଲୋକ ଅଞ୍ଚଳରେ ରହେ; କିନ୍ତୁ ଆଲ୍‌କାଲି ଧାତୁ ଓ ବେରିୟମ ଓ ଷ୍ଟ୍ରନ୍‌ସିୟମ ପାଇଁ ଏହା ଦୃଶ୍ୟମାନ ଆଲୋକ ପରିସରରେ ଥାଏ। ପଟାସିୟମ ପାଇଁ ν_0 ନୀଳ ଅଞ୍ଚଳରେ ଓ ସିସିୟମ ପାଇଁ ଏପରିକି ଲାଲର ପୂର୍ବ ଅଞ୍ଚଳରେ ରହିଥାଏ।

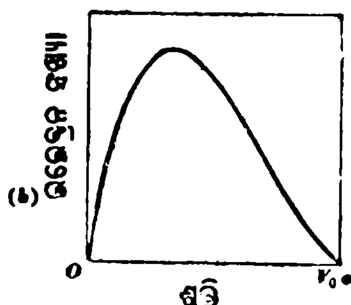
(୪) ଅଧିକାଂଶ ଫଟୋ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଙ୍କର ଗତିଜ ଶକ୍ତି K_{max}ଠାରୁ କମ୍ । ଚିତ୍ର ୬.୭ରେ ରିଚାର୍ଡସନ୍ ଓ କମ୍ପଟନ୍ 1912 ମସିହାରେ ଆଲୁମିନିୟମ ପାଇଁ ପ୍ରକାଶ କରିଥିବା ଶକ୍ତି ବଣ୍ଟନ ପରୀକ୍ଷା ଫଳ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଗୋଟିଏ ଗୋଲକାକାର ସୁପରିବାହୀର ମଧ୍ୟଭାଗରେ ଅବସ୍ଥିତ ଗୋଟିଏ ପ୍ଲେଟ ଫଟୋମିଟର ବ୍ୟବହାର କରିଥିଲେ । ଏଥିରେ ସେମାନେ ଗୋଟିଏ ମନ୍ଦନ ବିଭବ V ଦେଇଥିଲେ ଓ ଅତି ବାଇଗେଣି ଅଞ୍ଚଳରେ ବିଭିନ୍ନ ସ୍ପନ୍ଦନ ପାଇଁ ମନ୍ଦନ ବିଭବର ଫଳନ ଭାବରେ ଫଟୋସ୍ରୋତ ମାପ କରିଥିଲେ । $\lambda = 2 \times 10^{-7} m$ ($\nu = 1{\cdot}5 \times 10^{15} S^{-1}$) ପାଇଁ 2·3Vରୁ ମନ୍ଦନ ବିଭବ ଅଧିକ ହେଲେ କୌଣସି ଫଟୋଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗୋଲକାକାର ସୁପରିବାହୀରେ ପହଞ୍ଚୁ ନଥିଲା; ତେଣୁ ଏହି ସ୍ପନ୍ଦନ ପାଇଁ K_{max} ହେଲା 2·3eV ।



Cରେ ମନ୍ଦନ ବିଭବ (ଭୋଲ୍ଟରେ)

(କ)

[ଚିତ୍ର ୬.୭ (କ) ମନ୍ଦନ ବିଭବ ସହିତ ଫଟୋ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ସ୍ରୋତର ପରିବର୍ତ୍ତନ]



ବର୍ଣ୍ଣ	ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ cm	ସଂକଟ ବିଭବ V
1	0·0000313	$V_1 = 0·90$
2	0·0000275	$V_2 = 1·30$
3	0·0000254	$V_3 = 1·50$
4	0·000023	$V_4 = 1·90$
5	0·000020	$V_5 = 2·30$

[ଚିତ୍ର ୬'୭ (ଖ) ଫଟୋଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ଶକ୍ତି ବଣ୍ଟନ]

(୫) ତାପମାତ୍ରାରେ ପରିବର୍ତ୍ତନର ଫଟୋବୈଦ୍ୟୁତିକ ସ୍ରୋତ ଉପରେ ସାମାନ୍ୟ ପ୍ରଭାବ ଅଛି ବା କୌଣସି ପ୍ରଭାବ ନାହିଁ । ଯେପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ତାପମାତ୍ରା କେତେକ ଶତ ଡିଗ୍ରୀ ସେଣ୍ଟିଗ୍ରେଡ୍ ଅତିକ୍ରମ କରିନାହିଁ ଓ ଯେପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ସ୍ଫଟିକର ଗଠନରେ ବା ତା'ର ଭୌତିକ ଅବସ୍ଥାର କୌଣସି ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୋଇନାହିଁ, ସେପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଫଟୋ-ବୈଦ୍ୟୁତିକ ସ୍ରୋତରେ କୌଣସି ପ୍ରଭାବ ପଡ଼ିବ ନାହିଁ । ଆଲ୍‌କାଲିଗୁଡ଼ିକ ଏହି ନିୟମର ଅତିକ୍ରମ ।

(୬) ଯଦି ପାର୍ଶ୍ୱିଭୂତ ଆଲୋକ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଏ, ସମତଳରେ ପାର୍ଶ୍ୱିଭୂତ ଆଲୋକର ଘୂର୍ଣ୍ଣନବେଳେ ପ୍ରଭେଦ ଦେଖାଯାଏ । ଅବଶ୍ୟ ଏହା ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ଅପତନବେଳେ ହୋଇଥାଏ । ଏହି ପ୍ରଭାବ ଅତ୍ୟନ୍ତ ଜଟିଳ ଧରଣର ଓ ଏହାର କାରଣ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ସନ୍ଦେହ ରହିଅଛି । ଆଲ୍‌କାଲି ଧାତୁମାନଙ୍କର ମନୋମତ ପ୍ରଭାବ ବିଶେଷ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ । କେତେକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ପରିସର ମଧ୍ୟରେ ଏହି ଧାତୁମାନଙ୍କରୁ ଫଟୋ ଓ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ସ୍ରୋତ, ଆଲୋକର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଭେକ୍ଟରର ଗୋଟିଏ ସଂଯୋଜକ ପୃଷ୍ଠତଳକୁ ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ଥିବାବେଳେ, ଏହି ସଂଯୋଜନ ପୃଷ୍ଠତଳକୁ ଆନୁଭୂମିକ ଭାବରେ ଥିବାବେଳେ ଅପେକ୍ଷା ଅଧିକ ପରିମାଣରେ ପ୍ରବାହିତ ହୋଇଥାଏ । ସୋଡ଼ିୟମ୍-ପଟାସିୟମ୍‌ର କେତେକ ସଙ୍କର ଧାତୁମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଏହି ଦୁଇ ଘଟଣାରେ ପ୍ରବାହିତ ସ୍ରୋତମାନଙ୍କର ଅନୁପାତ 10 : 1 ବା 20 : 1 ବା ଏହାଠାରୁ ଅଧିକ ହୋଇପାରେ ।

6·9 ତାପ ଆୟନୀୟ ବିକିରଣ :

ଗୋଟିଏ ବିକିରକରୁ ତାପ ଆୟନୀୟ ସ୍ରୋତ ତାପମାତ୍ରାର ବୃଦ୍ଧି ଅନୁସାରେ ଅତି କ୍ଷିପ୍ର ବେଗରେ ବଢ଼ିଯାଇଥାଏ । ଏହା ଜ୍ୟାମିତିକ ପରିସ୍ଥିତି ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ ଓ ଏହି ପରିସ୍ଥିତି ସ୍ଥାନ-ଚାର୍ଜ ପ୍ରଭାବକୁ ନିୟନ୍ତ୍ରିତ କରିଥାଏ । ଏହାଛଡ଼ା ଏହାର ସ୍ୱରୂପଟି ତୁଳନାରେ ବିକିରକର ବିଭବ ଉପରେ ଏହା ନିର୍ଭର କରିଥାଏ । କିନ୍ତୁ, ଗୋଟିଏ ଦତ୍ତ ବିକିରକ ଗୋଟିଏ ଦତ୍ତ ତାପମାତ୍ରାରେ କାର୍ଯ୍ୟ କଲେ ତାପ ଆୟନୀୟ ସ୍ରୋତ ଗୋଟିଏ ଲିମିଟ୍ Iକୁ ଅତିକ୍ରମ କରିବ ନାହିଁ, ଏହା ଅନୁ: ୨୧୮)

$$I = AT^2 e^{\phi/kT} \qquad (୬·୧୨)$$

ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ । ଏଠାରେ ø ଓ A ବିକିରକ ବସ୍ତୁ ଏବଂ ଏହାର ପୃଷ୍ଠତଳର ଅବସ୍ଥା ଉପରେ ନିର୍ଭର କରୁଥିବା ଧ୍ରୁବ ।

ø ରାଶିଟି ଗୋଟିଏ ଶକ୍ତି ବୁଝାଉଛି; ତାତ୍ତ୍ୱିକ ବ୍ୟାଖ୍ୟାରେ ଏହା ପରମ ଶୂନ୍ୟ ତାପମାତ୍ରାରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର (ବା ତାପ ଆୟନମାନଙ୍କର) ନିଷ୍କାସନ ତାପ ବୁଝାଇଥାଏ । ଅର୍ଥାତ୍ O°Kରେ ପ୍ରତି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନକୁ ନିଷ୍କାସନ କରିବାପାଇଁ ଦରକାର ହେଉଥିବା ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ବୁଝାଇଥାଏ । ତାପ ଆୟନୀୟ ପରୀକ୍ଷା ଫଳମାନଙ୍କରୁ ହିସାବ କରି ଦେଖାଯାଏ ଯେ, ø 2ରୁ 6eV ମଧ୍ୟରେ ରହେ; øକୁ କାର୍ଯ୍ୟଫଳନ କୁହାଯାଏ ।

ଆଗେ ଅନୁମାନ କରାଯାଉଥିଲା ଯେ, ଧାତୁ ମଧ୍ୟରୁ ଏକା ଉତ୍ସରୁ ତାପ ଆୟନ ଓ ଫଟୋ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନେ ବାହାରି ଆସନ୍ତି; ଏହି ଦୁଇପ୍ରକାର ମଧ୍ୟରେ କେବଳ ପ୍ରଭେଦ ହେଲା ଯେ, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନେ ବିକିରଣରୁ ବାହାରିଯିବାପାଇଁ ସକ୍ଷମ ହେବାଲାଗି ଦରକାର ହେଉଥିବା ଶକ୍ତି କେଉଁ ଉପାୟରେ ମିଳିଥାଏ । ଏହି ମତ ଅନୁସାରେ, ତାପ ଆୟନୀୟ ସମୀକରଣରେ ɸ ରାଶିଟି ଅନ୍ତତଃ ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନଙ୍କର ଫଟୋ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ସମୀକରଣର $ø = h\nu_0$ ସଙ୍ଗେ ମୋଟାମୋଟି ସମାନ ହେବା ଦରକାର ।

ଏହି ସମୀକରଣକୁ ପରୀକ୍ଷାଦ୍ୱାରା ପ୍ରତିଷ୍ଠା କରିବା ସମ୍ଭବ ହୋଇନାହିଁ, କାରଣ ଫଟୋବୈଦ୍ୟୁତିକ ଓ ତାପ ଆୟନୀୟ ଉଭୟ ଗବେଷଣାରେ ଅନେକ ଅବାଞ୍ଛିତ ପ୍ରମାଦ ରହିଯାଇଥାଏ । ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ଭାବରେ ତୁଳନୀୟ ପରୀକ୍ଷା ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ଅଧିକ ସ୍ଥାୟୀ ଧାତୁମାନଙ୍କରେ କରାଯାଇଅଛି । ସେଥିରୁ କେତେଗୁଡ଼ିଏ ମୂଲ୍ୟ ତଳେ ଦିଆଗଲା ।

ଧାତୁ	$h\nu_0$, eV	ϕ, eV
ପ୍ଲାଟିନମ୍	6·30	6·27
ଟଙ୍ଗଷ୍ଟନ	4·58	4·52
ସିଲଭର (ରୁପା)	4·73	4·08
ଗୋଲ୍ଡ଼ (ସୁନା)	4·82	4·42

ଫଟୋ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ପରୀକ୍ଷାରେ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଇଥିବା କାର୍ଯ୍ୟଫଳନ ସହିତ ତାପ ଆୟନୀୟ ପରୀକ୍ଷାରେ ନିର୍ଣ୍ଣିତ କାର୍ଯ୍ୟଫଳନର ମେଳକରୁ ଆମେ ଅନୁମାନ କରିବାକୁ ବାଧ୍ୟ ହେଉଅଛୁ ଯେ, ଫଟୋଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଓ ତାପ ଆୟନୀୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଙ୍କର ଗୋଟିଏ ସାଧାରଣ ଉତ୍ସ ରହିଅଛି ।

———

ପ୍ରଶ୍ନାବଳୀ

୧ । ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଗୋଟିଏ ବିଭବ ତାରତମ୍ୟ V ଦ୍ୱାରା ତ୍ୱରାନ୍ୱିତ ହେଉଅଛି । ଏହା ତାପରେ ଦୁଇ ଦୀର୍ଘ ସାମାନ୍ତରଭାବେ ଥିବା ପ୍ଲେଟ ମଧ୍ୟରେ ଗତିକରେ, ସେମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ତୀବ୍ରତା $\vec{E}$ ରହିଥାଏ । $\vec{E}$ କୁ ଲମ୍ବ ଭାବରେ ଏପରି ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକୀୟ ପ୍ରେରଣ $\vec{B}$ ଥାଏ, ଯେପରି କି ପ୍ଲେଟ ଦୁଇଟି ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଇଲେକଟ୍ରନଟି ଗଲାବେଳେ ବିକ୍ଷେପିତ ହୁଏନାହିଁ । ଦେଖାଅ ଯେ, $e/m = E^2/2VB^2$ ।

୨ । ସର୍ବାଧିକ $2{\cdot}3eV$ ଗତିଜ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଗୋଟିଏ ପୃଷ୍ଠତଳରୁ $\lambda = 200m\mu$ ଅତି ବାଇଗେଣି ଆଲୋକ ଦ୍ୱାରା ନିଷ୍କାସିତ ହେଉଅଛି । ଆପତିତ ଫୋଟନଗୁଡ଼ିକର ଶକ୍ତି ଜୋଲ୍‌ରେ ଓ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଭୋଲ୍‌ଟରେ ହିସାବ କର । ପୃଷ୍ଠତଳରୁ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନକୁ ମୁକ୍ତ କରିବାପାଇଁ ସର୍ବନିମ୍ନ କେତେ ଶକ୍ତି ଦରକାର ? ଏହି ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ଫୋଟନର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ କେତେ ?

ଉତ୍ତର : $9{\cdot}9 \times 10^{-19}$ j, $6{\cdot}2$ eV; $3{\cdot}9$ eV; 320 $m\mu$,

୩ । ପଟାସିୟମର ପୃଷ୍ଠତଳରୁ (ଏହାର $\phi_0 = 2{\cdot}1eV$) ଫଟୋଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନମାନେ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ 2000 ଓ 5000A° ଦ୍ୱାରା ନିଷ୍କାସିତ ହେଲାବେଳେ, ସେମାନଙ୍କର ସର୍ବାଧିକ ଗତିଜ ଶକ୍ତି ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର । ଦେହଳି ସ୍ପନ୍ଦନ ν_0 ଓ ଅନୁରୂପ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ କେତେ ?

ଉତ୍ତର : $4{\cdot}1$ eV, $0{\cdot}4$ eV; $5{\cdot}08 \times 10^{14} Hz$, 5900A°

୪। ଗୋଟିଏ ସେଲ୍‌ର ଫଟୋସ୍ରୋତ ଗୋଟିଏ ଏକରଙ୍ଗୀ ବିକିରଣ $\lambda = 250 m\mu$ ଆପତିତ ହେଲବେଳେ ମନ୍ଦନ ବିଭବ 2Vରେ ଶୂନ୍ୟକୁ କମିଯାଏ । କାର୍ଯ୍ୟଫଳନ, $\lambda = 200 m\mu$ ପାଇଁ ବନ୍ଦ କରିବା ବିଭବ ଓ ଦେହଳି ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ହିସାବ କର ।

୫। ସିସିୟମର ଫଟୋ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ପ୍ରଭାବ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଗୋଟିଏ ପରୀକ୍ଷାରେ $\lambda = 4358$ ଓ $\lambda = 5461\ A^\circ$ରେ ଯଥାକ୍ରମେ ବନ୍ଦ କରିବା ବିଭବଗୁଡ଼ିକ ହେଲେ 0·95 ଓ 0·38 eV । ଏହି ପରୀକ୍ଷାଫଳରୁ h, ଦେହଳି ସ୍ପନ୍ଦନ ଓ ସିସିୟମର କାର୍ଯ୍ୟଫଳନ ବାହାର କର ।

ଉତ୍ତର : $4{\cdot}6 \times 10^{14} Hz$, $1{\cdot}9 eV$.

୬। ଟଙ୍ଗଷ୍ଟନରୁ ଫଟୋବୈଦ୍ୟୁତିକ ବିକିରଣ ପାଇଁ ଦେହଳି ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ଏକ ପରୀକ୍ଷାରେ $270 m\mu$ ମୂଲ୍ୟ ମିଳିଲା । ଫଟୋବୈଦ୍ୟୁତିକ କାର୍ଯ୍ୟଫଳନ ଜୋଲ୍‌ରେ ଓ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଭୋଲ୍ଟରେ ବାହାର କର । $\lambda = 200 m\mu$ ଫୋଟନମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ନିଷ୍କାସିତ ଫଟୋଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସର୍ବାଧିକ ଶକ୍ତି ହିସାବ କର ।

ଉତ୍ତର ! $7{\cdot}34 \times 10^{-19}$ j; $4{\cdot}59 eV$, $1{\cdot}61 eV$.

୭। K ଗତିଜଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଏକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସେହି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଗତିବେଗ ପ୍ରତି ଲମ୍ବଭାବରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ ସମଚୁମ୍ବକୀୟ ପ୍ରେରଣ $\vec{B}$ ରେ ପ୍ରବେଶ କଲା । ଯଦି B ଟି 0·005 Wb/m^2 ହୁଏ, K (କ) 200 eV (ଖ) 200KeV (ଗ) 200neV ହେଲବେଳେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଗତିପଥର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

ଉତ୍ତର : (କ) 9·54 mm, (ଖ) 33cm (ଗ) 134m.

୮। 3000 ଓ 6000A° ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ରେଖାମାନଙ୍କର 1·8Wb/m^2 ଚୁମ୍ବକପ୍ରେରଣରେ ସାଧାରଣ ଜିମାନ୍ ବିନ୍ୟାସରେ ବାହାର ହୁଇ ରେଖା ମଧ୍ୟରେ ଅନ୍ତର ଆଙ୍ଗଷ୍ଟ୍ରମ ଏକକରେ ହିସାବ କର ।

୯ । ଗୋଟିଏ କାଥୋଡ୍ ରଶ୍ମି ଟିଉବ୍ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ଦ୍ୱାରା 1500*e*V ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକୁ ବିକ୍ଷେପଣ କରୁଅଛି । ଏହି ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ର 2 *cm* ଦୂରତା ମଧ୍ୟରେ ସମ ପରିମାଣରେ ଅଛି ଓ ଅନ୍ୟ ସବୁଠି ଶୂନ୍ୟ ହେଉଅଛି । ବିକ୍ଷେପଣ କରୁଥିବା କ୍ଷେତ୍ରଠାରୁ 25*cm* ଦୂରରେ ପ୍ରତିଦୀପ୍ତ ପରଦାଟି ରହିଥିଲେ, $B=0{\cdot}002\ Wb/m^2$ ପାଇଁ ରଶ୍ମିର ବିକ୍ଷେପଣ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

ଉତ୍ତର : 8*cm*.

୧୦ । ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗୋଟିଏ କାଥୋଡ୍ ରଶ୍ମି ଟିଉବର ଅକ୍ଷ ଦେଇ ଦୁଇ ସମାନ୍ତର ପ୍ଲେଟ୍‌ର ମଧ୍ୟସ୍ଥଳରେ $1{\cdot}5\times10^7\ m/s$ ଅଭିକ୍ଷିପ୍ତ ହେଲା । ପ୍ଲେଟ୍‌ଗୁଡ଼ିକ 3cm ଲମ୍ବା ଓ ପରସ୍ପରଠାରୁ 1·2 *cm* ଦୂରରେ ରହିଥିଲେ । ସେମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ବିଭବ ତାରତମ୍ୟ 120V । (କ) ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ପ୍ଲେଟଗୁଡ଼ିକୁ କେତେ କୋଣରେ ତ୍ୟାଗ କରୁଛି, (ଖ) ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ପ୍ଲେଟ ଛାଡ଼ିବା ସମୟରେ ଅକ୍ଷଠାରୁ ତା'ର ଦୂରତା ଓ (ଗ) ପ୍ଲେଟ୍‌ମାନଙ୍କଠାରୁ 20*cm* ଦୂରରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ ପ୍ରତିଦୀପ୍ତ ପରଦାକୁ ଏହା ଅକ୍ଷଠାରୁ କେତେ ଦୂରରେ ଆଘାତ କରିବ, ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

ଉତ୍ତର : (କ) 0·23 *rad*, (ଖ) 0·35 *cm*; (ଖ) 5·0*cm*.

୧୧ । ଗୋଟିଏ କାଥୋଡ୍ ରଶ୍ମି ଟିଉବର ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ବିକ୍ଷେପଣକାରୀ ପ୍ଲେଟଗୁଡ଼ିକ 2*cm* ବର୍ଗ; ସେଗୁଡ଼ିକ ମଧ୍ୟରେ ବ୍ୟବଧାନ 0·*cm* ଓ 25*cm* ଦୂରରେ ପ୍ରତିଦୀପ୍ତ ପରଦା ରହିଅଛି । ଯଦି ପ୍ଲେଟମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଗତି କଲାବେଳେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ଗତିଜ ଶକ୍ତି 1500*e*V ହୋଇଥାଏ, ବିକ୍ଷେପଣକାରୀ ପ୍ଲେଟ୍ ମଧ୍ୟରେ 2*e*Vବେଳେ ପରଦାରେ ମୋଟାମୋଟି ରଶ୍ମିର ବିକ୍ଷେପଣ ହିସାବ କର ।

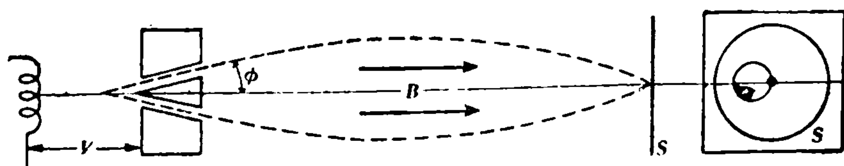
ଉତ୍ତର : 7*cm*.

୧୨ । ଦେଖାଅ ଯେ, ଚିତ୍ର ୬·୪ର ପ୍ଲେଟମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗତି କରି ସାରିବା ପରେ ଏହାର ପଥ ଗୋଟିଏ ସରଳରେଖା ହେବ ଓ ସେହି ସରଳରେଖାକୁ ବଢ଼ାଇଲେ ପ୍ଲେଟମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟସ୍ଥ ଆୟତନର ମଧ୍ୟବିନ୍ଦୁରୁ ବାହାରିବା ପରି ମନେ ହେବ, ଯେତେ ଯେପରି ସେପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ବିକ୍ଷେପିତ ନହୋଇ ଗତି କଲା ଓ ସେହିଠାରେ ବିଚ୍ଛିନ୍ନ ଭାବରେ ବିକ୍ଷେପିତ ହେଲା ।

୧୩ । 13600eV ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ଫୋଟନ ସ୍ଥିର ଥିବା ଗୋଟିଏ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁ ସହିତ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଘଟାଇଲା ଓ ଫଟୋବୈଦ୍ୟୁତିକ ଭାବରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଫୋଟନ ଗତି କରୁଥିବା ଦିଗରେ ନିଷ୍କାସନ କଲା । ଯଦି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟିକୁ ନିଷ୍କାସନ କରିବାପାଇଁ 13·6eV ଦରକାର ହୁଏ, ଫଟୋ-ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟିର ବେଗ ଓ ଅପସରଣକାରୀ ପ୍ରୋଟନର ସଂବେଗ ତଥା ଶକ୍ତି ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

ଉତ୍ତର : $6.7 \times 10^7 m/s$; $6{\cdot}3 \times 10^{-28} kg{\text -}m/s$, 7·4$eV$.

୧୪ । e/m ମାପ କରିବାପାଇଁ ବୁସ୍‌ଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ନିର୍ମିତ ଏକ ଯନ୍ତ୍ରରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଏକ ବିଭବ ଅନ୍ତର Vରେ ଅର୍ଦ୍ଧ ଅର୍ଦ୍ଧ-କୋଣ ϕ ବିଶିଷ୍ଟ କୋଣୀୟ ଛିଦ୍ର ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଗତି କଲା । ସେଗୁଡ଼ିକ ସେମାନଙ୍କର ଗତିବେଗ ଭେକ୍ଟର ଅକ୍ଷ ସହିତ ϕ କୋଣ କରି ଗୋଟିଏ ସଲେନଏଡ୍ ଦ୍ୱାରା ସୃଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ସମ ଅକ୍ଷୀୟ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର B ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରବେଶ କଲେ ଓ ତିହିଁ ମଧ୍ୟରେ ସ୍ପାଇରାଲ ପଥରେ ଗତି କଲେ । ଯଦି Bକୁ ଶୂନ୍ୟରୁ ବଢ଼ାଯାଏ, ପରଦା Sର ଅକ୍ଷରେ ଆହୁଥରେ ଫୋକସ କରିବା ପରି Bର ମୂଲ୍ୟସବୁ ଆସିବ । ଦେଖାଅ ଯେ, $e/m = (8\pi^2 V\cos^2\phi)/B^2L^2$ ହେଲା-ବେଳେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରଥମେ Sରେ ଫୋକସ ହେବେ (ଚିତ୍ର ୭·୮ ଦେଖ) ।



[ଚିତ୍ର ୭·୮ e/m ମାପ କରିବାପାଇଁ ବୁସ୍‌ଙ୍କ ବ୍ୟବସ୍ଥା]

୧୫ । ଦେଖାଅ ଯେ ଗୋଟିଏ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଫଟୋବୈଦ୍ୟୁତିକ ଭାବରେ ଗୋଟିଏ ଫୋଟନ ଶୋଷଣ କରି ପାରିବନାହିଁ । ଏଥିପାଇଁ ଦେଖାଅ ଯେ, ଏପରି ପରିସ୍ଥିତିରେ ଶକ୍ତି ଓ ସଂବେଗର ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମ ଯୁଗପତ୍ ଭାବରେ ତୃପ୍ତ ହୋଇପାରିବେନାହିଁ ।

୧୬ । (କ) e/m ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରିବାପାଇଁ ଥମସନ୍‌ଙ୍କ ବ୍ୟବସ୍ଥାନୁସାରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଗୋଟିଏ ସଂକୀର୍ଣ୍ଣ ରଶ୍ମି ଗୁଚ୍ଛ v ଗତିବେଗରେ d ତାରତମ୍ୟ ଓ l ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ସାମାନ୍ତର ପ୍ଲେଟମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଗତି କରେ । ଯଦି ବିଭବ ତାରତମ୍ୟ V ଏହି ପ୍ଲେଟମାନଙ୍କରେ ପ୍ରୟୋଗ କରାଯାଏ, ଦେଖାଅ ଯେ, ପ୍ଲେଟମାନଙ୍କ ବାହାରେ D ଦୂରତାରେ ଗୋଟିଏ ପ୍ରତିପ୍ରଭ ପରଦାରେ ରଶ୍ମି ଗୁଚ୍ଛର ଆଘାତ ବିନ୍ଦୁ

$$S = \frac{e}{m}\,\frac{V}{d}\,\frac{l\,(D+l/2)}{v^2}$$

ଦୂରତାରେ ଘୁଞ୍ଚିବ ।

(ଖ) ଯଦି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଚ୍ଛକ ପରଦାଠାରୁ $D+l/2$ ଦୂରତାରେ $\theta = S/(D+l/2)$ କୋଣରେ ହଠାତ୍ ଏକମାତ୍ର ବିକ୍ଷେପଣ ଲାଭ କରେ, ତେବେ ସେହି ପରିମାଣରେ ବିକ୍ଷେପଣ ହୁଅନ୍ତା ବୋଲି ପ୍ରମାଣ କର ।

ସପ୍ତମ ଅଧ୍ୟାୟ

ଏକ୍ସ-ରେ

ମୌଳିକ ଭୌତିକ ବିଜ୍ଞାନର ଗବେଷଣା କ୍ଷେତ୍ରରେ ଏକ୍ସ-ରେ ଯେପରି ପ୍ରଭାବ ପକାଇଥିଲା ବୋଧହୁଏ ସମସ୍ତ ବିଜ୍ଞାନରେ ଅନ୍ୟ କୌଣସି ବିଷୟ ସେପରି ପ୍ରଭାବ ପକାଇ ନାହିଁ । ରଞ୍ଜନଙ୍କର ଏହି ଭାଗ୍ୟବାନ୍ ଆବିଷ୍କାରର 3ମାସ ମଧ୍ୟରେ ସର୍ଜିକାଲ ଅପରେସନରେ ଭିଏନାର ଗୋଟିଏ ଡାକ୍ତରଖାନାରେ ଏକ୍ସ-ରେ ବାସ୍ତବ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଉପଯୋଗୀ ହୋଇ-ଥିଲା । ଏହି ସର୍ଜିକାଲ ନୂତନ ସାହାଯ୍ୟକାରୀ ବ୍ୟବସ୍ଥାର ବ୍ୟବହାର ଅତି ଶୀଘ୍ର ବ୍ୟାପି ଯାଇଥିଲା । ରଞ୍ଜନଙ୍କର ସମୟରୁ ଡାକ୍ତରୀ ବିଦ୍ୟାର କେତେକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଏକ୍ସ-ରେ ବୈପ୍ଳବିକ ପରିବର୍ତ୍ତନ ଆଣିଅଛି । କିନ୍ତୁ, ଯଦି ରଞ୍ଜନ ଇଚ୍ଛା କରି ଭଙ୍ଗା କମାଇବା ଉଦ୍ଦେଶ୍ୟରେ ସର୍ଜନମାନଙ୍କୁ ସାହାଯ୍ୟ କରିବା ଲାଗି କୌଣସି ଆବିଷ୍କାର କରିବାର ଚେଷ୍ଟା କରିଥାନ୍ତେ, ତେବେ ସେ ରକ୍ତ ଟିଉବ୍, ପ୍ରେରଣ କରିଲ ଓ ସେହିପରି ଯେଉଁ ଯନ୍ତ୍ରପାତିଗୁଡ଼ିକ ଲାଗି ତାଙ୍କର ଏହି ବିଖ୍ୟାତ ଆବିଷ୍କାର ସମ୍ଭବ ହୋଇଲା, ସେଗୁଡ଼ିକ ନିଶ୍ଚିତ ଭାବରେ ବ୍ୟବହାର କରି ନଥାନ୍ତେ ।

ବ୍ୟବହାରିକ ବିଜ୍ଞାନର ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ବହୁ କ୍ଷେତ୍ରରେ, ଉଭୟ ପ୍ରାଣୀଜଗତ ଓ ଭୌତିକ ଜଗତରେ, ଏକ୍ସ-ରେ ପାଇଁ ପ୍ରଧାନ ପ୍ରଧାନ ଅନେକ ବ୍ୟବହାର ଦେଖାଯାଇଥିଲା । ଏଗୁଡ଼ିକ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରଧାନ ହେଲା, ବସ୍ତୁର ପାରମାଣବିକ ଓ ଆଣବିକ ଗଠନ ସମସ୍ୟା ପରି ସମସ୍ୟା-ଗୁଡ଼ିକରେ ଏକ୍ସ-ରେର ବ୍ୟବହାର ଏବଂ ବସ୍ତୁ ସହିତ ବିକିରଣର ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାର ପ୍ରଣାଳୀର ଗବେଷଣାରେ ଏହାର ବ୍ୟବହାର । ଏକ୍ସରେ ଆମକୁ ଏକପ୍ରକାର ସୂକ୍ଷ୍ମ ଅଣୁବୀକ୍ଷଣ ଯନ୍ତ୍ର ଦେଇଅଛି । ଏହା ସାହାଯ୍ୟରେ ଆମେ କେବଳ ପରମାଣୁ ଓ ସ୍ଫଟିକରେ ସେମାନଙ୍କର

ସତ୍ତା "ଦେଖିବାକୁ" ସମର୍ଥ ହୋଇନାହୁଁ, ଏପରିକି ପରମାଣୁର ଅଭ୍ୟନ୍ତର ମଧ୍ୟ "ଦେଖି" ପାରୁଛୁ । ରଞ୍ଜେନଙ୍କର ଆବିଷ୍କାର ସର୍ବାଧିକ ପ୍ରଧାନ ଆବିଷ୍କାରମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଗଣ୍ୟ ହେବା ଉଚିତ ।

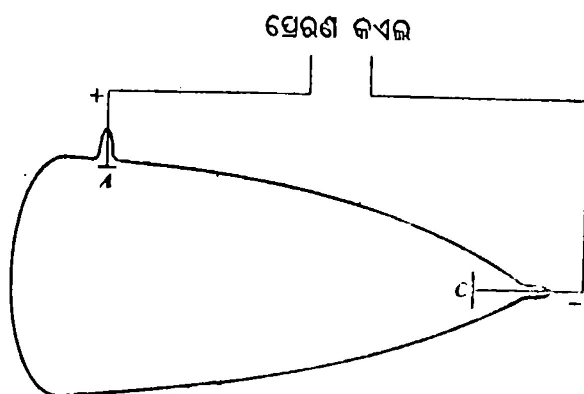
7·1 ଏକ୍ସ-ରେର ଆବିଷ୍କାର :

1895ର ଶରତ୍‌କାଳରେ, ଉର୍ଜବର୍ଗଠାରେ ଭୌତିକ ବିଜ୍ଞାନର ପ୍ରଫେସର, ଉଇଲ୍‌ହେମ କୋନାର୍ଡ୍ ରଞ୍ଜେନ, ସ୍ୱଳ୍ପ ଗ୍ୟାସ ଥିବାରେ ଟିଉବ ମଧ୍ୟରେ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ବିସର୍ଜନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଗବେଷଣା କରୁଥିଲେ । ଗୋଟିଏ ଅତି ମାତ୍ରାରେ ଶୂନ୍ୟ ହୋଇଥିବା ଟିଉବ୍‌ରେ (ଚିତ୍ର ୭·୧କ) ଏକ ବିଶାଳ ପ୍ରେରଣ କଏଲ୍ ଲଗା ହୋଇଥିଲା । ଏହାର ଗୋଟିଏ ମୁଣ୍ଡରେ କାଥୋଡ୍ C ଓ ପାଖରେ ଆନୋଡ୍ A ଲଗିଥିଲା । ଟିଉବ୍‌ଟିରେ "ଏକ ପ୍ରକାର କୃଷ୍ଣ କାର୍ଡ୍‌ବୋର୍ଡ଼ର ମାଣ୍ଡଳ ଦ୍ୱାରା ଭଲ ଭାବରେ ଜଡ଼ା ହୋଇଥିଲା ।" ଗୋଟିଏ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଅନ୍ଧାର ଘରେ ଏହି ଯନ୍ତ୍ରଟିକୁ ରଖି ସେ ଦୈବାତ୍ ଦେଖିବାକୁ ପାଇଲେ ଯେ, "ବେରିୟମ୍ ପ୍ଲାଟିନମ୍-ସାଏନାଡ଼ରେ ଧୂଆଁ ହୋଇଥିବା କାଗଜ ପରଦାଟିଏ ଅତି ଉଜ୍ଜ୍ୱଳ ଭାବରେ ଆଲୋକିତ ହେଉଅଛି ଏବଂ ଏହାର ବୋଲାଥିବା ପଟଟି ବା ଅନ୍ୟ ପଟଟି, ଯେଉଁଟି ଟିଉବ୍ ଆଡ଼କୁ ରହିଥିଲେ ମଧ୍ୟ ଏହା ସମଭାବରେ ପ୍ରତିଦୀପ୍ତ ହେଉଅଛି ।" ଯନ୍ତ୍ରଠାରୁ 2m ଦୂରରେ ପ୍ରତିଦୀପ୍ତି ଦେଖାଯାଉଅଛି । ରଞ୍ଜେନ ଅତିଶୀଘ୍ର ଯଥାର୍ଥ ଭାବେ ବୁଝିଲେ ଯେ, ଯେଉଁ କାରଣରୁ ପ୍ରତିଦୀପ୍ତି ଦେଖାଯାଉଛି, ତାହା କାଥୋଡ୍‌ରଶ୍ମି ଗୁଡ଼ିକ କାଚକୁ ଅଘାତ କରିବା ସ୍ଥାନରେ ଜନ୍ମୁଅଛି ।

ତାଙ୍କର ଆବିଷ୍କାରର ପ୍ରାଧାନ୍ୟ ଜାଣିପାରି ରଞ୍ଜେନ ହଠାତ୍ ନୂତନ ରଶ୍ମିମାନଙ୍କର ଧର୍ମସବୁ ଜାଣିବାକୁ ଚେଷ୍ଟା କଲେ—ଏହି ରଶ୍ମି ଅଜ୍ଞାତ ଥିଲା ବୋଲି ସେ ଏହାର ନାମ ଏକ୍ସ-ରେ ଦେଇଥିଲେ । ଅନ୍ୟାନ୍ୟ କେତେକ ବିଷୟ ସାଙ୍ଗକୁ ସେ ତାଙ୍କର ପ୍ରଥମ ପ୍ରବନ୍ଧରେ ଲେଖିଥିଲେ ।

୧ । ସମସ୍ତ ବସ୍ତୁ ଅଳ୍ପ ବହୁତ ଭାବରେ ଏକ୍ସ-ରେ ପାଇଁ ସ୍ୱଚ୍ଛ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, 2ରୁ 3 cm ମୋଟା କାଠ ଅତ୍ୟନ୍ତ ସ୍ୱଚ୍ଛ । 15 mm ମୋଟା ଆଲୁମିନିୟମ ଏହାର ପ୍ରଭାବକୁ ବହୁ ପରିମାଣରେ "କମାଇ ଦେଉଛି, ଏହା ପ୍ରତିଦୀପ୍ତିକୁ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣଭାବେ

ବନ୍ଦ କରି ଦେଇପାରୁନାହିଁ ।" ସୀସା କାଚ ଅସ୍ୱଚ୍ଛ, କିନ୍ତୁ ସେହି ବେଧର ଅନ୍ୟ କାଚ ବହୁ ପରିମାଣରେ ସ୍ୱଚ୍ଛ । "ଯଦି ବିସର୍ଜନ ଟିଉବ୍ ଓ ପରଦା ମଧ୍ୟରେ ହାତକୁ ରଖାଯାଏ, ହାତର ସ୍ୱଳ୍ପ କୃଷ୍ଣ ଛାୟା ମଧ୍ୟରେ ହାଡ଼ର ଗାଢ଼ର ଛାୟା ଦେଖାଯାଏ ।"



[ଚିତ୍ର ୭·୧ ରଣ୍ଟ୍‌ଜନ ଯେଉଁ ପ୍ରକାରର ଟିଉବ ସାହାଯ୍ୟରେ ଏକ୍ସ-ରେ ଆବିଷ୍କାର କରିଥିଲେ]

୨ । ବେରିୟମ-ପ୍ଲାଟିନମ୍ ସାଏନାଇଡ୍ ବ୍ୟତୀତ ଅନ୍ୟ ବହୁ ପଦାର୍ଥ— କାଲସିୟମର ଯୌଗିକ, ୟୁରାନିୟମ କାଚ, ପ୍ରସ୍ତର ଲବଣ ଇତ୍ୟାଦି ପ୍ରତିଦୀପ୍ତ ହୁଏ ।

୩ । ଫଟୋଗ୍ରାଫିର ପ୍ଲେଟ ଓ ଫିଲ୍ମ "କଳେ କଳେ ଏକ୍ସରେ ଦ୍ୱାରା ସ୍ପର୍ଶକାତର ହୁଅନ୍ତି ।" ତେଣୁ ଏକ୍ସ-ରେର ପ୍ରଭାବ ଆଲୋଚନା କରିବାପାଇଁ ଫଟୋଗ୍ରାଫି ଅତି ମୂଲ୍ୟବାନ୍ ପ୍ରଣାଳୀ ।

୪ । ଏକ୍ସରେ ପ୍ରତିଫଳିତ ବା ପ୍ରତିସରିତ ହୁଏନାହିଁ । (ରଣ୍ଟ୍‌ଜନ ଯେପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଆବିଷ୍କାର କରି ପାରିଥିଲେ) । ତେଣୁ "ଏକ୍ସ-ରେକୁ ଲେନ୍ସଦ୍ୱାରା ଫୋକସ୍ କରାଯାଇ ପାରିବନାହିଁ ।"

୫ । କାଥୋଡ୍ ରଶ୍ମି ପରି ଏକ୍ସରେକୁ ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ର ଦ୍ୱାରା ବିକ୍ଷେପ କରାଯାଇ ପାରିବ ନାହିଁ । ପିନ ଛିଦ୍ର ଫଟୋଗ୍ରାଫ୍ ନେଇ ରଣ୍ଟ୍‌ଜନ ଦେଖାଇଲେ ଯେ, ଏକ୍ସ-ରେ ସରଳ ରେଖାରେ ଗତି କରେ ।

୬ । ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁପୃକ୍ତ ବା ବିଯୁକ୍ତ ସ୍ବର୍ଣ୍ଣଦ୍ୱାରା ସ୍ବର୍ଣ୍ଣଯୁକ୍ତ ହୋଇଥିଲେ ମଧ୍ୟ ଏକ୍ସ-ରେ ତାକୁ ସ୍ୱର୍ଣ୍ଣହୀନ କରିଦିଏ ।

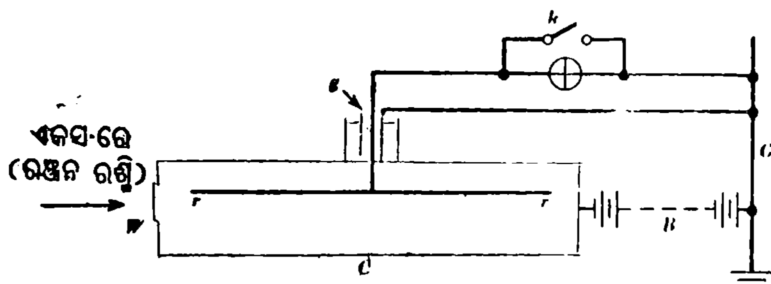
୭ । ବିସର୍ଜନ ଟିଉବ୍‌ର କାଥୋଡ଼ ରଶ୍ମି କୌଣସି କଠିନ ପଦାର୍ଥକୁ ଆଘାତ କଲେ ଏକ୍ସରେ ଉତ୍ପନ୍ନ ହୋଇଥାଏ । କିନ୍ତୁ ପ୍ଲାଟିନମ ପରି ଗୋଟିଏ ଗୁରୁ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ ଆଲୁମିନିୟମ ପରି ଗୋଟିଏ ଲଘୁ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ ତୁଳନାରେ ଏକ୍ସ-ରେ ଉତ୍ପନ୍ନ କରିବାରେ ଅଧିକ ପରିମାଣରେ କ୍ଷମ ।

ଏକ୍ସ-ରେ ଉଦ୍ଭାବନ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ପ୍ରଥମ ପ୍ରବନ୍ଧରେ ଏକ୍ସରେ ପ୍ରଧାନ ପ୍ରଧାନ ମୌଳିକ ଧର୍ମ ଯେ ପ୍ରକାଶ ପାଇଥିଲା, ଏହା ରଞ୍ଜନଙ୍କର ସମ୍ମାନାସ୍ପଦ ପୁଙ୍ଖାନୁପୁଙ୍ଖତା ଫଳରେ ସମ୍ଭବ ହୋଇଥିଲା । ବହୁ ଆଗ୍ରହ ପ୍ରକାଶ ପାଇଲା; ଆମେରିକା ଓ ୟୁରୋପ, ଉଭୟର ବହୁ ଲାବରାଟରୀରେ ଏକ୍ସରେ ସମ୍ବନ୍ଧରେ କାର୍ଯ୍ୟ ଆରମ୍ଭ ହୋଇଗଲା । ଭୌତିକ ବିଜ୍ଞାନର ଗୋଟିଏ ସାଧାରଣ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଗୁଣାତ୍ମକ ଅଭିବୃଦ୍ଧିର ଏହି ପ୍ରଥମ ସମୟର କାର୍ଯ୍ୟଗୁଡ଼ିକ ସୁନ୍ଦର ଉଦାହରଣ ।

7·2 ଏକ୍ସ-ରେର ଉତ୍ପାଦନ ଓ ସଂଗ୍ରହ :

1913 ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଏକ୍ସ-ରେ ଉତ୍ପାଦନ ପାଇଁ ଟିଉବ୍‌ଗୁଡ଼ିକ ରଞ୍ଜନ ଦେଇଥିବା ଟିଉବ୍ ପରି ଥିଲା । 10^{-6} $mm\ Hg$ କୋଟୀର ଅବଶିଷ୍ଟ ଗ୍ୟାସ ଚାପରେ ଯେତେବେଳେ ଭୋଲ୍ଟ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଉଥିଲା, ସେତେବେଳେ ଅଳ୍ପ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଓ ଯୁକ୍ତ ଆୟନ ବାହାରୁଥିଲା । ଏହି ଯୁକ୍ତ ଆୟନଗୁଡ଼ିକ କାଥୋଡ଼୍‌କୁ ଆଘାତ କରି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ନିଷ୍କାସନ କରୁଥିଲେ । ଏଗୁଡ଼ିକ ଆନୋଡ଼୍ ଦେହରେ ସଂଘର୍ଷ ଫଳରେ ଏକ୍ସ-ରେ ଜନ୍ମୁଥିଲା । ଗୋଟିଏ ବକ୍ର କାଥୋଡ଼୍ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକୁ ଦରକାରୀ ଆକାର ଓ ପ୍ରକାରର ଫୋକସକୁ ଆଣି ଦେଉଥିଲା । ଏହି ପ୍ରକାରର ଟିଉବ୍‌କୁ ଗ୍ୟାସ ଟିଉବ୍ କୁହାଯାଉଥିଲା, ଏଥିରେ ଆନୋଡ଼୍ ସ୍ରୋତ, ବ୍ୟବହୃତ ଭୋଲ୍ଟ ଓ ଗ୍ୟାସର ଚାପ — ଏଗୁଡ଼ିକ ଅଳ୍ପ ବହୁତ ପରସ୍ପର ନିର୍ଭରଶୀଳ, ଏଥିରେ ଗ୍ୟାସର ଚାପ ଆବଶ୍ୟକ ମୂଲ୍ୟଠାରେ ରଖାଯିବା ନିତାନ୍ତ ଦରକାର ଥିଲା । ଏହା କରିବାପାଇଁ ନାନାପ୍ରକାର ଉତ୍ତମ କୌଶଳ ପ୍ରୟୋଗ କରାଯାଇଥିଲା । କିନ୍ତୁ 1913ରେ କୁଲିଜ୍ ଗୋଟିଏ ପ୍ରଧାନ କଥା ଆରମ୍ଭ କଲେ । ସେ ଟିଉବ୍‌ଟିକୁ ସର୍ବାଧିକ

ସମ୍ଭବ ପରିମାଣରେ ଶକ୍ତ କରିଦେଲେ ଓ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଉତ୍ସ ଭାବେ କାର୍ଯ୍ୟ କରିବାପାଇଁ ଜ୍ୱଳନ୍ତ କୁଣ୍ଡଳାକାର ଟଙ୍ଗଷ୍ଟନ ଫିଲାମେଣ୍ଟ ସେଥିମଧ୍ୟରେ ରଖିଲେ । ଗୋଟିଏ ବାଟେରୀରୁ ନିୟନ୍ତ୍ରିତ ସ୍ରୋତ ସାହାଯ୍ୟରେ ଫିଲାମେଣ୍ଟଟି ଗରମ କରାଯାଉଥିଲା । ତେଣୁ ବ୍ୟବହୃତ ଭୋଲ୍ଟ ଉପରେ ନିର୍ଭର ନକରି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପରିମାଣକୁ ନିୟନ୍ତ୍ରଣ କରାଯାଇ ପାରୁଥିଲା ।



[ଚିତ୍ର ୭'୨ ଏକ୍ସ-ରେ ରଶ୍ମିର ବା ଅନ୍ୟ ଆୟନକାରୀ ବିକିରଣର ତୀବ୍ରତା ମାପ କରିବାପାଇଁ ଗୋଟିଏ ଆୟନନ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ]

ପାରମାଣିକ ମାପ ପାଇଁ, ଆୟନନ ପ୍ରଣାଳୀ ବହୁ ପୂର୍ବରୁ ବ୍ୟବହୃତ ହେଉଥିଲା । ଏକ୍ସରେ ସ୍ୱର୍ଣ୍ଣଯୁକ୍ତ ବସ୍ତୁମାନଙ୍କୁ ସ୍ୱର୍ଣ୍ଣଶୂନ୍ୟ କରିବାର ଗୁଣରୁ ସ୍ପଷ୍ଟଥାଏ ଯେ ଏହା ଗ୍ୟାସ ଅଣୁଗୁଡ଼ିକୁ ଆୟନନ କରିବା ଜଣାଗଲା । ଏହି ପ୍ରଭାବ ସାନ୍ଦ୍ରତା ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ କ୍ଷିପ୍ରଗତିରେ ବଢ଼ିବାର ଦେଖାଗଲା, ଆଉ ମଧ୍ୟ ଏହା ଗ୍ୟାସର ଗୁଣ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରୁଥିଲା । ନିମ୍ନ ଗ୍ୟାସଗୁଡ଼ିକ କ୍ରମରେ ଅଧିକରୁ ଅଧିକ ସକ୍ରିୟ; H_2, CO, ବାୟୁ, CO_2 ଇଥର ବାଷ୍ପ, CS_2 । ପ୍ରଥମେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋସ୍କୋପର ବିସର୍ଜନ ହାର ଏକ୍ସ-ରେ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛର ତୀବ୍ରତା ମାପ କରିବାକୁ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଉଥିଲା; କିନ୍ତୁ ପରେ ଗୋଟିଏ ଆୟନନ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ ବ୍ୟବହାର କରାଗଲା । ଏହା ଚିତ୍ର ୭'୨ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । C କେତେକ ସେଣ୍ଟିମିଟର ବ୍ୟାସ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ଧାତବ ଟିଉବ୍ । ଏହାର ଲମ୍ବା ପ୍ରାୟ 20ରୁ 100 *cm.* । କେବଳ ଗୋଟିଏ ଛିଦ୍ର ବା ଖୋଲା W ଛାଡ଼ିଦେଲେ ଅନ୍ୟ ସବୁଠାରେ ଏହା ବନ୍ଦ । ଏହି ଛିଦ୍ରଠାରେ ପାତଳା ସେଲୋଫେନ ବା ଆଲୁମିନିୟମ ଏକ୍ସ-ରେ ଛାଡ଼ିବାପାଇଁ ରଖାଯାଇପାରେ । ଅମ୍ବର ବା କ୍ୱାର୍ଟଜ୍ ପରି ଉପଯୁକ୍ତ ରୋଧୀ ବସ୍ତୁ

ଦ୍ୱାରା ଗୋଟିଏ ଦଣ୍ଡ rr ରଖାଯାଇଅଛି । ଏହା ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋମିଟର ବା ଗୋଟିଏ ସେନ୍ସିଟିଭ୍ ଆମ୍ପ୍ଲିଫାୟରକୁ ଯୋଗ କରାଯାଇଅଛି । ଗୋଟିଏ ବ୍ୟାଟେରୀ B ଦ୍ୱାରା ଦଣ୍ଡ rr ଓ ସିଲିଣ୍ଡର C ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ବିଦ୍ୟୁତକ୍ଷେତ୍ର ସୃଷ୍ଟି କରାଯାଇଅଛି । ଏହି ବ୍ୟବସ୍ଥାଟି ଅଧିକ ସୂକ୍ଷ୍ମ କରିବାପାଇଁ ପ୍ରକୋଷ୍ଠଟି କୌଣସି ଗୁରୁ ଗ୍ୟାସରେ ପୂର୍ଣ୍ଣ କରାଯାଇ ପାରେ । ସାଧାରଣତଃ ଆର୍ଗନ ବା ମିଥାଇଲ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇଥାଏ । ଯେତେବେଳେ ଛିଦ୍ର W ଦେଇ ଏକ୍ସ-ରେ ପ୍ରବେଶ କରେ, ସିଲିଣ୍ଡର ମଧ୍ୟରେ ଗ୍ୟାସ ପରିବାହୀ ହୋଇଯାଏ; ସିଲିଣ୍ଡର ଓ ଦଣ୍ଡ ମଧ୍ୟରେ ବିଦ୍ୟୁତକ୍ଷେତ୍ର ଥିବାରୁ, ପରୀକ୍ଷାଟି ଯେଉଁ ହାରରେ ଶକ୍ତି ଗ୍ରହଣ କରେ ତାହା ଏକ୍ସ-ରେ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛର ତୀବ୍ରତା ମାପ କରିଥାଏ । ଆଜିକାଲି ଗୋଟିଏ ଗାଇଗର ଗଣକ ବା ଉପଯୁକ୍ତ ବିଦ୍ୟୁତ କୁଣ୍ଡଳୀ ସହ ଗୋଟିଏ ସ୍ଫୁଲିଙ୍ଗ ସଂଖ୍ୟାହକ ଆୟନନ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ ସ୍ଥାନରେ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇପାରେ ।

7·3 ଏକ୍ସରେର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ :

ଯଦିଓ ଏକ୍ସରେ ଏକ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ତରଙ୍ଗ, ଏହି ଧାରଣା ବହୁକାଳରୁ ରହିଥିଲା, ଏହା ପ୍ରତିଷ୍ଠା କରିବା କଷ୍ଟକର ଥିଲା । 1899ରେ ହାଗା ଓ ଉଇଣ୍ଡ ଏକ୍ସରେର ବିବର୍ତ୍ତନ ପାଇଁ ପ୍ରମାଣ ଯୋଗାଇ ଦେଇଥିଲେ । ସେମାନେ ସିଦ୍ଧାନ୍ତ କରିଥିଲେ ଯେ ଏକ୍ସରେର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ 10^{-10} m କୋଟୀର ହେବ, କିନ୍ତୁ ସେମାନଙ୍କର ପରୀକ୍ଷା ବହୁ ବୈଜ୍ଞାନିକଙ୍କୁ ଜଟିଳ ବୋଲି ମନେ ହୋଇ ନଥିଲା । ସେମାନେ ଅଳ୍ପ କେତେକ ମାଇକ୍ରନ ଚଉଡା ଫନେଲ ଆକାରର ଛିଦ୍ର ବ୍ୟବହାର କରିଥିଲେ ଓ ଗୋଟିଏ ଫଟୋଗ୍ରାଫ ପ୍ଲେଟରେ ଛିଦ୍ରର ପ୍ରତିବିମ୍ବ ଚଉଡା ହୋଇଯିବାର ଲକ୍ଷ୍ୟ କରିଥିଲେ । ଏକ୍ସରେ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛକୁ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ଅନୁସାରେ ବିଭାଜନ କରିବାର ପ୍ରଥମ ପ୍ରଣାଳୀ ଲଓଙ୍କର ଚମତ୍କାର ପ୍ରସ୍ତାବ ଅନୁସାରେ କରାଯାଇଥିଲା । ଉକ୍ତ ବିବର୍ତ୍ତନ ପରୀକ୍ଷାରୁ ଏକ୍ସରେର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ, ସ୍ଫଟିକରେ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକର ବ୍ୟବଧାନ ଯେଉଁ କୋଟୀର, ସେହି କୋଟୀର ବୋଲି ମନେ ହେଲା । ତେଣୁ ଲଓ ପ୍ରସ୍ତାବ ଦେଲେ ଯେ, ଗୋଟିଏ ସ୍ଫଟିକରେ ଥିବା ନିୟମିତ ସ୍ତରରେ ସଜ୍ଜା ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ଏକ ସଙ୍ଗରେ ପ୍ରତି ଯେପରି କାର୍ଯ୍ୟ କରିବେ, ସାଧାରଣ ଆଲୋକ ପ୍ରତି ଗୋଟିଏ ରୁଲକରା ଗ୍ରେଟିଂ ସେହିପରି କାର୍ଯ୍ୟ କରିଥାଏ । ମନେକର ଗୋଟିଏ ସମତଳ

ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ତରଙ୍ଗ ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଢଙ୍ଗରେ ଗଠିତ କରି ଗୋଟିଏ ସ୍ଫଟିକ ଉପରେ ପଡ଼ିଲା । ପ୍ରତି ପରମାଣୁ ଆପତନ ରଶ୍ମିରୁ କିଛି କିଛି ବିକ୍ଷୁରଣ କରିବେ । ସାଧାରଣଭାବରେ, ବିଭିନ୍ନ ପରମାଣୁ ଦ୍ୱାରା ବିକ୍ଷୁରିତ ତରଙ୍ଗାବଳୀ ବିଭିନ୍ନ କଳାରେ ଏକତ୍ରିତ ହେବେ ଏବଂ ବ୍ୟତିକରଣ ଦ୍ୱାରା ପରସ୍ପରର ପ୍ରଭାବକୁ ନଷ୍ଟ କରିଦେବେ । କିନ୍ତୁ ଲୁଏ ଯୁକ୍ତି କଲେ ଯେ, କେତେକ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ପାଇଁ ଓ କେତେକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଢଙ୍ଗରେ ତରଙ୍ଗାବଳୀ ସମକଳାରେ ଏକତ୍ରିତ ହେବେ ଏବଂ ସେହି କାରଣରୁ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ବିବର୍ତ୍ତିତ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ଉତ୍ପାଦନ କରିବେ, ତେଣୁ ଆଶା କରାଯାଇ ପାରିବ ଯେ, ବିଭିନ୍ନ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ଏକ୍ସରେ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ଗୋଟିଏ ସ୍ଫଟିକ ମଧ୍ୟଦେଇ ଗଲେ ଏହିପରି ବିବର୍ତ୍ତିତ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ମିଳିବ ।

1912 ରେ ଏହିପରି ଏକ ପରୀକ୍ଷା ଫ୍ରେଡ୍ରିକ ଓ କିପ୍‌ଲିଙ୍ଗ କରିଥିଲେ । ଏକ୍ସରେର ଏକ ସଂକୀର୍ଣ୍ଣ ରଶ୍ମି ଗୋଟିଏ ସ୍ଫଟିକ ମଧ୍ୟରେ ଗତି କରି ଗୋଟିଏ ଫଟୋଗ୍ରାଫ୍ ପ୍ଲେଟ୍‌ରେ ପଡ଼ିଲା । କେତେକ ଘଣ୍ଟା ଏହିପରି ପଡ଼ିବା ପରେ ପ୍ଲେଟ୍‌ଟିକୁ ଧୋଇବାରୁ ଦେଖାଗଲା ଯେ, ଅଭ୍ୟନ୍ତରର କେନ୍ଦ୍ରସ୍ଥ ପ୍ରତିବିମ୍ବ ସାଙ୍ଗକୁ (ଯେଉଁଠାରେ ସିଧାସଳଖ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛଟି ପଡ଼ିଥିଲା); ପ୍ଲେଟରେ ସ୍ୱଳ୍ପ ତୀବ୍ରତା ବିଶିଷ୍ଟ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ନିୟମାନୁଯାୟୀ ସଜ୍ଜା ହୋଇଥିବା ଚିହ୍ନ ଅଛି । ଏଥିରୁ ଜଣାଗଲା ଯେ, ଅପବର୍ତ୍ତ ଏକ୍ସରେ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ସ୍ଫଟିକ ଦ୍ୱାରା କେତେକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଢଙ୍ଗରେ ବିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇଅଛି । ଠିକ୍ ଯେପରି ଲାଉ କହିଥିଲେ (ଚିତ୍ର ୭.୩) ।

ସେମାନଙ୍କର ମୂଳ ଲେଖାରେ ଫ୍ରେଡ୍ରିକ୍, କିପିଙ୍ଗ୍ ଓ ଲାଉ ଗୋଟିଏ ଜିଙ୍କ୍ ବ୍ଲେଣ୍ଡ ସ୍ଫଟିକକୁ ଆପତନ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ପ୍ରତି ବିଭିନ୍ନ କୋଣରେ ରଖି ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ଫଟୋଗ୍ରାଫ ବିଶ୍ଳେଷଣ କରି ଦେଖାଇଲେ ଯେ, ଏକ୍ସରେ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛରେ 1·27 ଓ $4{\cdot}83 \times 10^{-11}$ m ଦୈର୍ଘ୍ୟ ମଧ୍ୟରେ ତରଙ୍ଗ ସବୁ ରହିଅଛି । ଏହି ପରୀକ୍ଷା ମୂଳରେ ଥିବା ଦୁଇଟି ଅନୁମାନ ଏହି ଫଳ ଠିକ୍ ବୋଲି ସ୍ୱୀକୃତ ଅଛି : (୧) ଏକ୍ସରେଗୁଡ଼ିକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ତରଙ୍ଗ ଓ (୨) ସ୍ଫଟିକର ବାହ୍ୟ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟରୁ ଯେପରି ଜଣାପଡ଼ୁଛି, ସ୍ଫଟିକ ଗୁଡ଼ିକରେ ସେହିପରି ତ୍ରିବିମିତିକ ଭାବରେ ନିୟମାନୁସାରେ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ସଜ୍ଜା ହୋଇ ଅଛନ୍ତି ।

ଏହି ପରୀକ୍ଷା ଏକସମୟରେ ଗୋଟିଏ ନୂତନ ଯୁଗର ଆରମ୍ଭ କରିଥିଲା । ଗବେଷଣାରୁ ଦୁଇଟି ନୂତନ ଦିଗ ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଖୋଲିଗଲା । (୧) ଏକ୍ସରେର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର ଗବେଷଣା



[ଚିତ୍ର ୭·୩ ଗୋଟିଏ ଟଙ୍ଗଷ୍ଟନ ସ୍ଫଟିକର ଲଓ ଫଟୋଗ୍ରାଫ୍]

ଓ ଏକରଙ୍ଗୀ ବ୍ୟବହାର କରି ବିକିରଣ, ଶୋଷଣ ଇତ୍ୟାଦି ପରୀକ୍ଷା, (୨) ସ୍ଫଟିକକ୍ଷେତ୍ରରେ ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ସଜ୍ଜାର ଗବେଷଣା । ପର ଅନୁଚ୍ଛେଦମାନଙ୍କରେ ଆମେ ପୂର୍ବୋକ୍ତ ଯୋଡ଼ିର କେତେକ ପ୍ରଧାନ ପ୍ରଧାନ ବିଷୟରେ ଆଲୋଚନା କରିବା ।

7·4 ବ୍ରାଗ୍‌ଙ୍କ ନିୟମ :

ଫ୍ରେଡ୍‌ରିକ, ନିପଲିଂ ଲଓ ତାଙ୍କର ଏହି ସଫଳ ପରୀକ୍ଷା ସମ୍ବନ୍ଧରେ ପ୍ରକାଶ କରିବା ପରେ ପରେ ଏହି ନୂତନ ଘଟଣାଟି ବିଷୟରେ ବହୁ ଗବେଷକ କାର୍ଯ୍ୟ ଆରମ୍ଭ କରିଦେଲେ । ଗୋଟିଏ ସ୍ଫଟିକ ଗ୍ରେଟିଂରେ ହେଉଥିବା ବିବର୍ତ୍ତନ ପ୍ରଣାଳୀକୁ ଗୋଟିଏ ସହଜ ଉପାୟରେ ବୁଝିବାପାଇଁ ଡବ୍ଲ୍ୟୁ, ଏଲ, ବ୍ରାଗ ପ୍ରସ୍ତାବ ଦେଇଥିଲେ । ସେ ଦର୍ଶାଇଥିଲେ ଯେ, ଯେକୌଣସି ସ୍ଫଟିକରେ ପରସ୍ପରଠାରୁ ସମଦୂରରେ ଥିବା ସୀମାନ୍ତର ସମତଳଗୁଡ଼ିଏ ଟଣାଯାଇ ପାରିବ

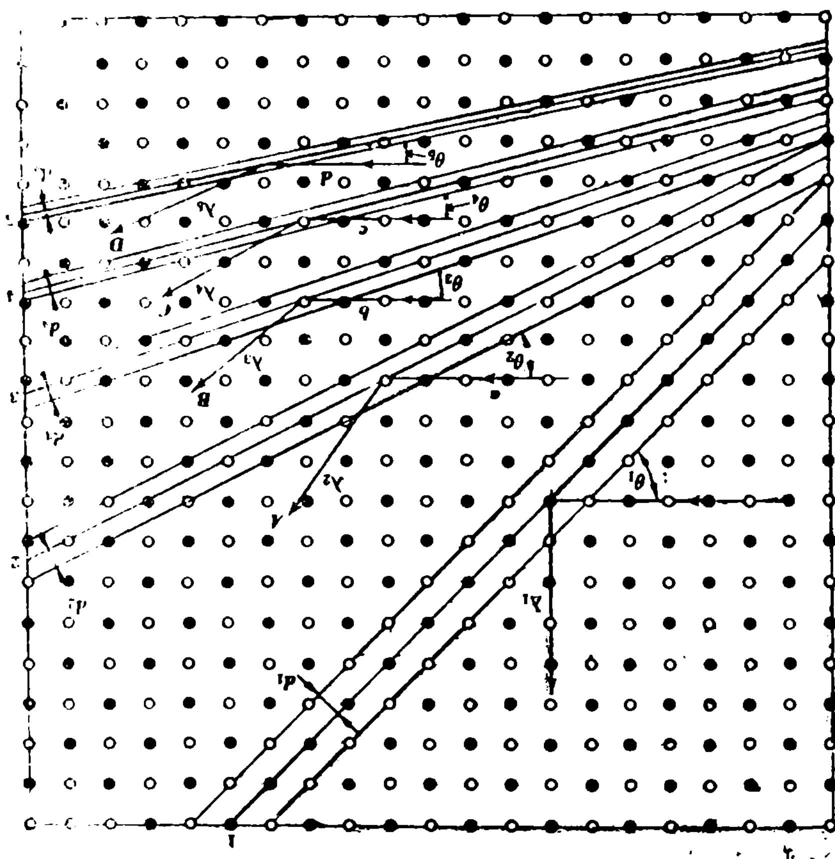
ଓ ଏହି ସମତଳଗୁଡ଼ିକ ସମସ୍ତ ପରମାଣୁ ଦେଇ ଗତି କରିବ । ପ୍ରକୃତରେ ଏପରି ଅନେକ ଦଳ ସମତଳ ଟଣାଯାଇ ପାରିବ, ଏହି ପ୍ରତ୍ୟେକ ଦଳ ପରସ୍ପରଠାରୁ ସେମାନଙ୍କର ନିଜସ୍ୱ ଦୂରତା ଦ୍ୱାରା ବିଚ୍ଛିନ୍ନ ହୋଇଥିବେ । ଏହିପରି ସମତଳଗୁଡ଼ିକୁ ବ୍ରାଗ୍ ସମତଳ କୁହାଯାଏ ଓ ସେମାନଙ୍କର ଅନ୍ତରକୁ ବ୍ରାଗ୍ ଅନ୍ତର ବୋଲି କୁହାଯାଏ । ଚିତ୍ର ୭.୪ରେ ପାଞ୍ଚ ଦଳ ବ୍ରାଗ ସମତଳର ଅଂଶ ବିଶେଷ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି ।

ଯଦି ସମତଳ ଏକରଙ୍ଗୀ ତରଙ୍ଗ ଗୋଟିଏ ବ୍ରାଗ ସମତଳର ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ଉପରେ ପଡ଼େ, ପ୍ରତ୍ୟେକ ପରମାଣୁଠାରୁ ସବୁଆଡ଼େ ବିଚ୍ଛୁରିତ ବିକିରଣର ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ତରଙ୍ଗ ମାଡ଼ିଯାଏ । ସମତଳରେ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ଯେପରି ଥାଆନ୍ତୁ ନା କାହିଁକି, ଗୋଟିଏ ଦିଗ ଅଛି, ଯେଉଁଥିରେ ବିଚ୍ଛୁରିତ ତରଙ୍ଗ ସବୁ ଏକ କଳାରେ ଏକତ୍ରିତ ହେବେ ଓ ପରସ୍ପର ସହିତ ସହାୟକ ବ୍ୟତିକରଣ ସୃଷ୍ଟି କରିବେ ଅର୍ଥାତ୍ ଏହା Specular ✳ ପ୍ରତି-ଫଳନର ଦିଗ । ଏହି ଦିଗରେ ଏହି ସମତଳରେ ଥିବା ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ବିଚ୍ଛୁରିତ ତରଙ୍ଗମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ କୌଣସି ପଥ ତାରତମ୍ୟ ନଥାଏ । ଗୋଟିଏ ଦର୍ପଣରୁ ପ୍ରତିଫଳନ ପାଇଁ ସାଧାରଣ ହାଇଗେନ ଅଙ୍କନ ପ୍ରଣାଳୀରୁ ଏହା ଜଣାଯିବ । ଏହି ଦିଗରେ ବିଚ୍ଛୁରିତ ହେଉଥିବା ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ବ୍ରାଗ୍ ସମତଳରୁ ପ୍ରତିଫଳିତ ହେଉଅଛି ବୋଲି ଅନୁମାନ କରାଯାଇ ପାରିବ । କିନ୍ତୁ ପ୍ରତ୍ୟେକ ବ୍ରାଗ୍ ସମତଳ ଏହିପରି ବହୁ ନିୟମାନୁସାରେ ରହିଥିବା ସାମନ୍ତର ସମତଳରୁ ଗୋଟିଏ । ସାଧାରଣ ଭାବରେ, ଏହି ସମସ୍ତ ସମତଳରୁ ପ୍ରତିଫଳିତ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ଗୁଡ଼ିକ ବିଭିନ୍ନ କଳାରେ ଏକତ୍ରିତ ହୁଅନ୍ତି ଓ ପରସ୍ପରର ପ୍ରଭାବକୁ ନଷ୍ଟ କରି ଦିଅନ୍ତି । କେବଳ ଯଦି ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ଓ ସମତଳମାନଙ୍କରେ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛର ଅପତନ କୋଣ ମଧ୍ୟରେ କେତେକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ସର୍ତ୍ତ ରହେ, ତେବେ ବିଭିନ୍ନ ସମତଳରୁ ତରଙ୍ଗଗୁଡ଼ିକ ଏକ କଳାରେ ଏକତ୍ରିତ ହେବେ ଓ ପ୍ରତ୍ୟେକ ପ୍ରତ୍ୟେକକୁ ସହାୟକ ହେବେ । ଚିତ୍ର ୭.୫ରେ d

---

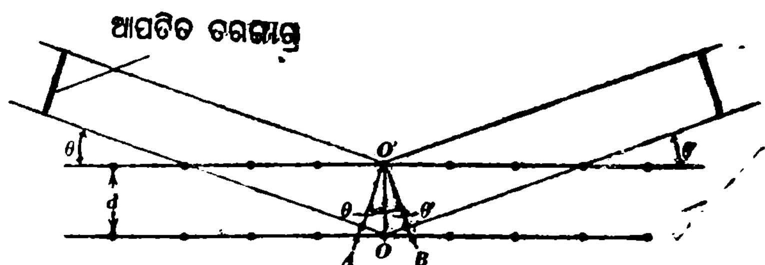
✳ କୌଣସି ସମତଳରେ ନିୟମାନୁସାରେ ସଜ୍ଜିତ ହୋଇଥିବା ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ଲାଗି ଅନ୍ୟାନ୍ୟ କେତେକ ଦିଗରେ ମଧ୍ୟ ସହାୟକ ବ୍ୟତିକରଣ ସମ୍ଭବ, କିନ୍ତୁ ଏହି ଦିଗମାନଙ୍କରେ ସାମାନ୍ତର ସମତଳ ସେଟ୍‌ରୁ ବ୍ୟତିକରଣ ଘଟି ପରସ୍ପରର ଗୁଣ ନଷ୍ଟ କରି ଦିଅନ୍ତି ।

ତାରତମ୍ୟରେ ଥିବା ଦୁଇଟି ବ୍ରାଗ୍ ସମତଳର ଅଂଶ ବିଶେଷ ଆନୁଭୂମିକ ରେଖା ଆକାରରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଏହି ସମତଳମାନଙ୍କ ଉପରେ ଆପତନ ରଶ୍ମିପୁଞ୍ଜର ଗତି ଦିଗ ଓ



[ଚିତ୍ର ୭·୪ NaCl ସ୍ଫଟିକ ଦ୍ୱାରା ବହୁରଙ୍ଗୀ ବିକିରଣ ଆପତିତ ହେବାବେଳେ ଏକରଙ୍ଗୀ ଏକ୍ସରେ ରଶ୍ମିପୁଞ୍ଜର ପ୍ରତିଫଳନ]

ସମତଳମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ କୋଣ θ ହେବ । θ କୁ ବିକ୍ଷେପଣ କୋଣ କୁହାଯାଏ ଓ ପ୍ରତିଫଳନ ସକାଶେ ଦରକାର କରେ ଯେ $\theta = \theta'$ ହେବ । ଦ୍ୱିତୀୟ ସମତଳ ଦ୍ୱାରା ବିଚ୍ଛୁରିତ ବିକିରଣ ପ୍ରଥମରୁ ବିଚ୍ଛୁରିତ ବିକିରଣ ସହିତ ସହାୟକ ଭାବରେ ବ୍ୟତିକରଣ କରିବାପାଇଁ



[ଚିତ୍ର ୭·୫ ଗୋଟିଏ ସ୍ଫଟିକର ପରମାଣୁମାନଙ୍କରୁ ବିଚ୍ଛୁରିତ ତରଙ୍ଗମାନଙ୍କର ସହାୟକ ବ୍ୟତିକରଣ $n\lambda = 2d \sin \theta$ ହେଲେ ହେବ]

ପଥ ତାରତମ୍ୟ AOB ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟର ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟକ ଗୁଣିତକ ହେବା ଦରକାର; ଏଥିଲାଗି

$$n\lambda = 2d \sin \theta \qquad (୭·୧)$$

ହେବ; ଏଠାରେ n ଗୋଟିଏ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା—ଏହାକୁ ପ୍ରତିଫଳନର କୋଟୀ କୁହାଯାଏ । ସମୀକରଣ (୭·୧) ସହିତ $\theta = \theta$ ହେବା ଆବଶ୍ୟକତା ଏକତ୍ର ମିଳିତ ଭାବରେ ଏକ୍ସରେ "ପ୍ରତିଫଳନ"ରେ ବ୍ରାଗଙ୍କ ନିୟମ ଭାବରେ କଥିତ ।

ମନେକର, ବର୍ତ୍ତମାନ, ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟମାନଙ୍କୁ ନେଇ ଗୋଟିଏ ସାମାନ୍ତର ତରଙ୍ଗ କୌଣସି ସ୍ଫଟିକ ଉପରେ ଆପତିତ ହେଲା; ଚିତ୍ର ୭·୪ରେ ଏହା $a, b, c. d$ ସାମାନ୍ତର ରଶ୍ମିମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଦର୍ଶାଯାଇଅଛି । ଚିତ୍ରର ବ୍ରାଗ ସମତଳମାନଙ୍କରୁ ପାଞ୍ଚଟି ଦଳର ଅଂଶ ବିଶେଷ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି—ସେମାନଙ୍କର ନିଜସ୍ୱ ଅବସ୍ଥାନ $d_1, d_2 \cdots$ ଓ ସେମାନଙ୍କୁ 1, 2, 3, 4, 5 ଦ୍ୱାରା ଚିହ୍ନା ଯାଇଅଛି । ଆହୁରି ଅନେକ ଦଳ ସମତଳ ଅନୁମାନ କରାଯାଇ ପାରିବ; ସେଥିମଧ୍ୟରୁ କେତେକ କାଗଜର ସମତଳ ପ୍ରତି ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ଓ କେତେକ ଏପରି ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ନଥାଇ ରହିବେ । ମନେକର ଆପତନ ରଶ୍ମି ଗୁଚ୍ଛର $n\lambda_2 = 2d \sin \theta_2$ ହେବାଭଳି ଗୋଟିଏ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ରହିଅଛି. ଏଠାରେ n ଗୋଟିଏ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା d_2 ହେଲା 2 ନମ୍ବର ଦିଆଯାଇଥିବା

ସମତଳ ସେଟ୍‌ମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ତାରତମ୍ୟ ଓ ଏହି ସମତଳଗୁଡ଼ିକ ସହିତ ଆପତନ ବିକିରଣର ନିକ୍ଷେପ କୋଣ θ । ତେବେ ଏହି ସମତଳ ଦଳରୁ λ_2 ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ A ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ପ୍ରତିଫଳିତ ହେବ । ଏହା A ତୀର ଚିହ୍ନିତ ଦିଗରେ ଗତି କରିବେ । ସେହିପରି କାଗଜର ସମତଳରେ ବିଭିନ୍ନ ଦିଗରେ B, C, D···ପ୍ରତିଫଳିତ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ସବୁ ରହିପାରେ ଏବଂ ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ସମତଳ ଦଳମାନଙ୍କରୁ ଏହି କାଗଜରେ ସମତଳରେ ନଥିବା ଦିଗମାନଙ୍କରେ ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ଅନେକ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ଥାଇପାରେ । ଫ୍ରେଡ଼ରିକ୍ ଓ ନିପିଙ୍ଗ୍‌ଙ୍କ ପରୀକ୍ଷାରେ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଲାଓ ଚିହ୍ନ ଏହିପରି ଗୋଟିଏ ପ୍ରତିଫଳକ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ଦ୍ୱାରା ସୃଷ୍ଟ ବୋଲି ଅନୁମାନ କରାଯାଇପାରେ । ସାଧାରଣ ଭାବରେ, ଯେଉଁ ସମତଳମାନଙ୍କରେ ସର୍ବାଧିକ ସଂଖ୍ୟକ ପରମାଣୁ ରହିଥାଏ, ସେହି ସମତଳମାନଙ୍କରୁ ପ୍ରତିଫଳନ ଦ୍ୱାରା ଉଜ୍ଜ୍ୱଳତମ ଚିହ୍ନ ସବୁ ଦେଖାଯାଏ ।

7·5 ଏକ୍‌ସରେ ସ୍ପେକ୍‌ଟୋମିଟର :

ଡବ୍ଲ୍ୟୁ, ଏଚ୍, ବ୍ରାଗ୍ ଓ ତାଙ୍କ ପୁଅ ଡବ୍ଲ୍ୟୁ, ଏଚ, ବ୍ରାଗ (ଚିତ୍ର ୭.୬କରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଥିବା) ଏକ୍‌ସରେ ସ୍ପେକ୍‌ଟୋମିଟରର ପ୍ରଥମ ଉନ୍ନତି ପାଇଁ ଦାୟୀ । T ଲକ୍ଷ୍ୟସ୍ଥଳରୁ ଏକ୍‌ସରେ S_1 ଓ S_2 ଦୁଇଟି ସଂକୀର୍ଣ୍ଣ ଛିଦ୍ର ଦେଇ ଓ θ ନିକ୍ଷେପ କୋଣରେ ·K ସ୍ଫଟିକର (ପ୍ରସ୍ତର ଲବଣ, କାଲ୍‌ସାଇଟ୍, ମାଇକା, ଜିପ୍‌ସମ୍, କ୍ୱାର୍ଟ୍‌ଜ ଇତ୍ୟାଦି) ଛେଦକ ତଳରେ ପତିତ ହେଉ । ଏହା ଟେବୁଲ Dରେ ଚଢ଼ାଯାଉ । ଏହାର କୌଣିକ ଅବସ୍ଥାନ ପଢ଼ା ଯିବାର ବ୍ୟବସ୍ଥା ଥାଉ । ଆପତନ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ସହିତ 2θ କୋଣ କରୁଥିବା ପ୍ରତିଫଳନ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ଗୋଟିଏ ଆୟନନ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ C ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରବେଶ କରୁ—ଏହି ପ୍ରକୋଷ୍ଠ ସାହାଯ୍ୟରେ ତୀବ୍ରତା ମାପ କରାଯାଇପାରିବ ।

ଫଟୋଗ୍ରାଫ୍‌ରେ ଲେଖି ରଖିବାପାଇଁ ଆୟନନ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ ବଦଳରେ ଗୋଟିଏ ଫଟୋଗ୍ରାଫ ପ୍ଲେଟ (ଚିତ୍ର ୭'୬ଖ) PP ନିଆଯାଇପାରେ । ସ୍ଫଟିକକୁ ନିକ୍ଷେପ କୋଣ θରେ ରଖିଲେ ପ୍ରତିପ୍ରଳିତ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ପ୍ଲେଟକୁ LOରେ (ବା ସ୍ଫଟିକକୁ ଓଲଟାଇ ଦେଲେ L' ଠାରେ) ସ୍ପର୍ଶ କରିବ । O ଠାରେ ସିଧାସଳଖ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛଟି ପ୍ଲେଟକୁ ସ୍ପର୍ଶ କରିଥାଏ । ସେଇଠାରୁ OL ଓ $^{\circ}A$ ଦୂରତା ଓ ଏଥିରୁ 2θ କୋଣ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଇପାରିବ ।

ଗୋଟିଏ ସ୍ଫଟିକ ($NaCl$ ପରି) ର ପ୍ରତିଫଳନକାରୀ ସମତଳମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଦୂରତା d ନିମ୍ନ ପ୍ରକାରରେ ହିସାବ କରାଯାଇପାରେ । ପ୍ରସ୍ତର ଲବଣ ସ୍ଫଟିକରେ Na ଓ Cl ଆୟନଗୁଡ଼ିକ ଚିତ୍ର ୭'୪ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଥିବା ପ୍ରକାରରେ ଗୋଟିଏ ସମଘନାକାର ଲାଟିସ୍‌ରେ ଏକାନ୍ତର ସ୍ଥାନଗୁଡ଼ିକ ଅଧିକାର କରିଥାନ୍ତି । ଉକ୍ତ ଚିତ୍ର ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକର ଗୋଟିଏ ସମତଳ ବୁଝାଉଅଛି । Clର ପାରମାଣବିକ ଓଜନ 35·45 ଓ Naର ପାରମାଣିକ ଓଜନ 22·99 ହୋଇଥିଲେ, $NaCl$ ର ଆଣବିକ ଓଜନ 58.44 ହେବ । ତେଣୁ 58·4 kgର $NaCl$ରେ $2N_A$ ସଂଖ୍ୟକ ପରମାଣୁ ଥାଏ, ଏଠାରେ N_A ହେଉଛି ଆଭୋଗାଡ୍ରୋଙ୍କ ସଂଖ୍ୟା । ତେଣୁ $1m^3$ର ପ୍ରସ୍ତର ଲବଣରେ ପରମାଣୁ ସଂଖ୍ୟା

[ଚିତ୍ର ୭'୬ (କ) ଅୟନନ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ (ଖ) ଫଟୋଗ୍ରାଫ୍ ପ୍ଲେଟ ବ୍ୟବହାର କରୁଥିବା ଏକ୍ସରେ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରୋମିଟର]

n ପାଇଁ ଆମେ ପାଉ N_{AP} /58'44, ଏଠାରେ $\rho = 216\cdot4 kg/m^3$ । ସ୍ଫଟିକାକାର $NaCl$ ସାନ୍ଦ୍ରତା । ଯଦି ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁ ଓ ତା'ର ପର ପରମାଣୁର କେନ୍ଦ୍ରମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସମପତନର ଧାରରେ d ହୁଏ, $1\,m$ ଲମ୍ବା ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁ ଧାଡ଼ିରେ ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା $\frac{1}{d}$ ଏବଂ $n = \frac{1}{d^3}$ । ଏହି ଦୁଇ ସମୀକରଣରୁ $d = 2'8_2 \times 10^{-10} m$ $= 2\cdot82 A^\circ$ ।

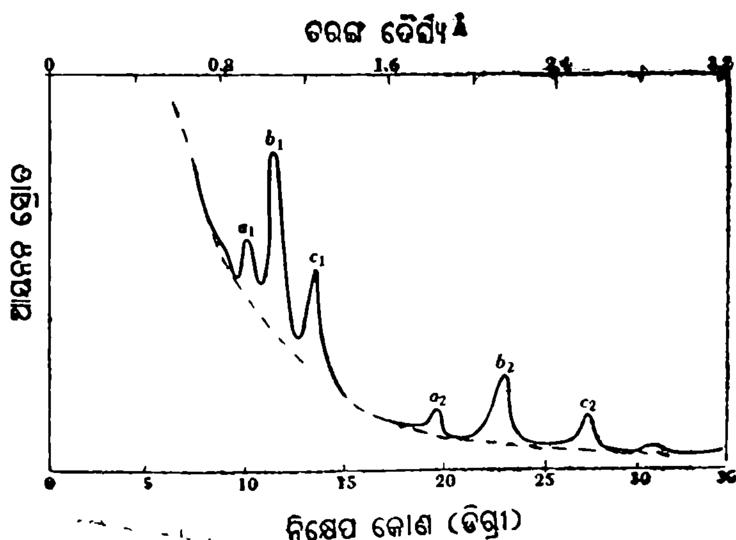
ସ୍ଫଟିକ ଗ୍ରେଟିଂ ବ୍ୟବହାର କରି 10^5ରେ କେତେକ ଅଂଶ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ସୂକ୍ଷ୍ମ ସ୍ତରରେ ମାପ କରାଯାଇପାରିବ । ଆଭୋଗାଡ୍ରୋଙ୍କ ସଂଖ୍ୟା, ସାନ୍ଦ୍ରତା ଓ ଗୋଟିଏ ସ୍ଫଟିକର ଆଣବିକ ଓଜନ ଯେତେ ସୂକ୍ଷ୍ମତାର ସହିତ ଜଣାଅଛି, ଏହା ତାଠାରୁ ଅଧିକ ସୂକ୍ଷ୍ମ । ତେଣୁ ଏକ୍ସରେ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ସବୁ ସାଧାରଣତଃ X-ଏକ୍ସରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇଥାଏ । ଏହା କାଲସାଇଟର ଗ୍ରେଟିଂ ବ୍ୟବଧାନକୁ 18°cରେ 3029·45XU ବୋଲି ନିଆଯାଇ ଏହି ଏକକ ସ୍ଥିର କରାଯାଇଥାଏ । ବର୍ତ୍ତମାନ ଜଣାଗଲାଣି ଯେ, X-ଏକକ 10^{-13}m ରୁ ଶତକଡ଼ା 0'0202 କମ୍ । ଟେବୁଲ ୭·୧ରେ ସାଧାରଣତଃ ଏକ୍ସରେ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରୋସ୍କୋପୀରେ ବ୍ୟବହୃତ କେତେକ ସ୍ଫଟିକ, ସେମାନଙ୍କର ଗ୍ରେଟିଂ ବ୍ୟବଧାନ ଓ ସେମାନଙ୍କର ପ୍ରତି ଡ଼ିଗ୍ରୀ ସେଲ୍ସିୟସ୍ ପାଇଁ ସରଳରୈଖିକ ପ୍ରସାରଣ ଦିଆଯାଇଅଛି ।

ଟେବୁଲ ୭-୧ ଏକ୍ସରେ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରୋସ୍କୋପୀରେ ବ୍ୟବହୃତ କେତେକ ସ୍ଫଟିକର ଗ୍ରେଟିଂ ବ୍ୟବଧାନ

ସ୍ଫଟିକ	ଗ୍ରେଟିଂ ବ୍ୟବଧାନ a 18° C		Change in d per Degree Celsius, XU or 10^{-13}m
	XU	ସଂଶୋଧନ, $\times 10^{-13} m$	
Rock salt, NaCl	2814.00	2819'68	0'11
Calcite, $CaCO_3$	3029·45	3035'57	0'03
Quartz SiO_2	4246'02	4254.60	0'04
Gypsum, $CaSO_4$ $2H_2O$	7584.70	7600'0	0'29
Mica	9942·72	9962·8	0·15

7·6 ଏକରଙ୍ଗୀ ସ୍ୱଧର୍ମୀ ବିକିରଣ :

ଗୋଟିଏ ପ୍ଲାଟିନମ୍ ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁରୁ ଏକ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ଗୋଟିଏ ପ୍ରସ୍ତର ଲବଣ ସ୍ଫଟିକର ଛେଦକତଳରେ ଅପତନ କରି ତତ୍ପରେ ବ୍ରାଗ $\Delta\theta$ ଲେଖାଁଏ ସ୍ଫଟିକଟିକୁ ଘୁରାଇଲେ ଓ ଆୟନନ ପ୍ରକୋଷ୍ଠକୁ 2θ ଲେଖାଁଏ ଘୁରାଇଲେ । ସେ ଆୟନନ ସ୍ରୋତ ଓ ନିକ୍ଷେପ କୋଣ θକୁ ନେଇ ଗୋଟିଏ ଗ୍ରାଫ୍ ତିଆରି କଲେ । ସେ ଦେଖିଲେ ଯେ, ଏକ୍ସ-ରେ ତୀବ୍ରତା କୋଣ ସହିତ ସମାନଭାବରେ ବଦଳୁ ନାହିଁ; କିନ୍ତୁ କେତେକ କୋଣରେ ହଠାତ୍ ସର୍ବାଧିକ ମୂଲ୍ୟକୁ ଉଠିଯାଉଅଛି । ଚିତ୍ର ୭.୭ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଥିବା ରେଖାପରି ଗୋଟିଏ ରେଖା ମିଳିଲା । ତିନୋଟି ସର୍ବାଧିକ ମୂଲ୍ୟ a_1, b_1 ଓ c_1 ଯଥାକ୍ରମେ 9·9°, 11·6° ଓ 13·6°ର θ କୋଣରେ ଦେଖାଗଲା (ଏହା ଗୋଟିଏ ଦଳ) । ଆଉ ଗୋଟିଏ ଦଳରେ ତିନୋଟି ସର୍ବାଧିକ ମୂଲ୍ୟ a_2, b_2 ଓ c_2 ମୋଟାମୋଟି ଏହି କୋଣମାନଙ୍କର 2ଗୁଣ କୋଣରେ ମିଳିଥାଏ । a_1, b_1 ଓ c_1 ରେଖାଗୁଡ଼ିକର a_2, b_2 ଓ c_2 ଦ୍ୱିତୀୟ-କୋଟୀର ସର୍ବାଧିକ ମୂଲ୍ୟ ବୋଲି ବ୍ରାଗ୍ କହିଲେ । ସେ ଏମାନଙ୍କର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ a_1, b_1, ଓ c_1



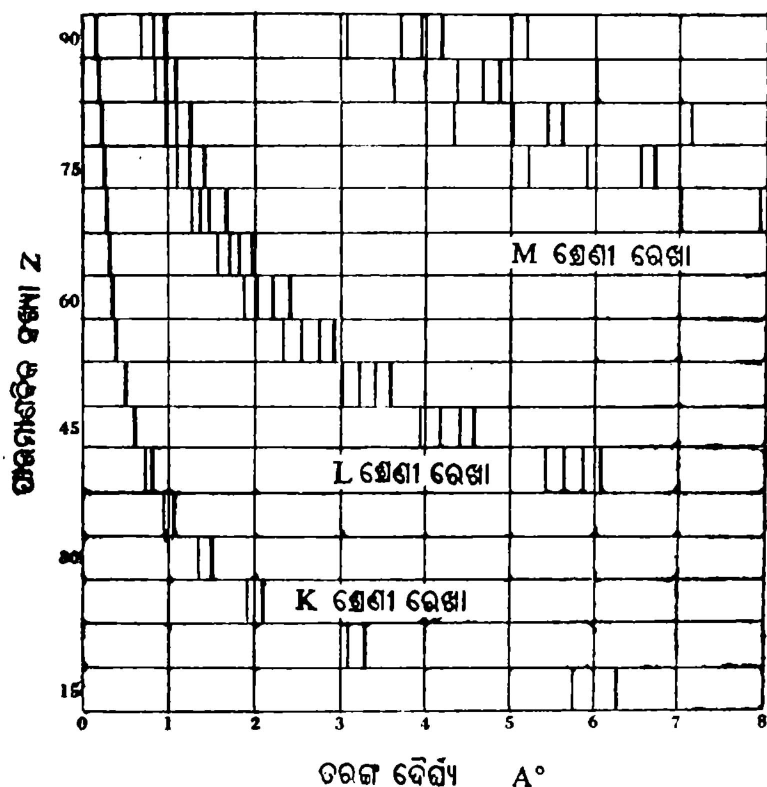
[ଚିତ୍ର ୭.୭ ଗୋଟିଏ ଏକ୍ସରେ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ଶକ୍ତି ବଣ୍ଟନ ପାଇଁ ବ୍ରାଗଙ୍କ ରେଖା-ସ୍ୱଧର୍ମୀ ରେଖା a, b, c, ଏଥିରେ ଦେଖାଯାଉଅଛି]

ରେଖାପାଇଁ $n=1$ ନେଇ ଓ ଦ୍ୱିତୀୟ କୋଟୀର a_2, b_2 ଓ c_2 ରେଖାମାନଙ୍କ ପାଇଁ $n=2$ ନେଇ ସେ ହିସାବ କଲେ । ଏହା ଯଥାକ୍ରମେ 0·97, 1·13, 1·32 $A°$ ବୋଲି ମିଳିଲା ।

ଅନ୍ୟ ସ୍ଫଟିକମାନଙ୍କ ସାହାଯ୍ୟରେ ଚିତ୍ର ୭.୭ ପରି ଚିତ୍ର ସବୁ ମିଳିଲା, କେବଳ ପ୍ରଭେଦ ଏତିକି ଯେ ଅନ୍ୟ ବିକ୍ଷେପ କୋଣରେ ସର୍ବାଧିକ ମୂଲ୍ୟ ସବୁ ମିଳିଲା । ଏଥିରୁ ଜଣାଗଲା ଯେ ପ୍ରତି ସ୍ଫଟିକର ସ୍ୱଧର୍ମୀ ଲେଟିସ ବ୍ୟବଧାନ d ରହିଅଛି । ତେବେ ବ୍ରାଗ୍ ନିଶ୍ଚିତ ଭାବରେ ଜାଣିଲେ ଯେ, ବିଭିନ୍ନ ସ୍ଫଟିକପାଇଁ ଏହି କମିକ ସର୍ବାଧିକ ମୂଲ୍ୟ ସବୁ ସର୍ବଦା ଏକା ଏକରଙ୍ଗୀ ବିକିରଣ ସୂଚାଉଅଛି । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ ଆଲୁମିନିୟମରେ ଶୃଙ୍ଗ h_1ର ଶୋଷଣ ସର୍ବଦା ସମାନ ରହେ, ଯେକୌଣସି ସ୍ଫଟିକ ବ୍ୟବହାର କଲେ ମଧ୍ୟ ଏହାହିଁ ଫଳ ହେବ । ସଂକ୍ଷେପରେ କହିଲେ, ଚିତ୍ର ୭·୭ରେ ଥିବା ଶୃଙ୍ଗସବୁ ବିକିରଣକାରୀ ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁର ସ୍ୱଧର୍ମୀ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ରେଖା ସୂଚାଇଥାଏ । ଏହି ଏକରଙ୍ଗୀ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ଗୋଟିଏ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ଉପରେ ସ୍ଥାପିତ ହୋଇଥାଏ । ଏହା ଚିତ୍ରରେ ଅଂଶିକ ବିନ୍ଦୁଯୁକ୍ତ ରେଖାରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ତେଣୁ ଚିତ୍ର ୭·୭ ଦେଖାଯାଇଥିବା ରେଖା ପରି ରେଖାସବୁ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥର ଏକ୍ସରେ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ଶକ୍ତି ବଣ୍ଟନ ସୂଚାଉଥାଏ— ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ଓ ସ୍ୱଧର୍ମୀ ରେଖା ମିଳି ଏହା ସୂଚାଇଥାଏ ।

ବ୍ରାଗ୍ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରୋମିଟର ତିଆରି ହେବାରୁ ଏକ୍ସ-ରେ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ସବୁ ସୂକ୍ଷ୍ମ ଭାବରେ ମାପ କରିବା ସମ୍ଭବ ହେଲା । ମଧ୍ୟମ ଓ ଗୁରୁ ପାରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା ବିଶିଷ୍ଟ ବହୁ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କୁ ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁ ଭାବରେ ନେଇ 1913 ମସିହାରେ ମୋସଲେ ଏକ୍ସ-ରେ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର ଶୃଙ୍ଖଳିତ ଗବେଷଣା ଆରମ୍ଭ କରିଥିଲେ । ତାଙ୍କର ପରୀକ୍ଷା ଫଳ ସାଙ୍ଗକୁ ଅନ୍ୟ ପରୀକ୍ଷକମାନଙ୍କର ପରୀକ୍ଷା ଫଳ ଅତି ଶୀଘ୍ର ମିଳିଯାଇଥିଲା । ଚିତ୍ର ୭·୮ରେ ଅନେକ ଭିନ୍ନ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥଙ୍କର ଏକ୍ସ-ରେ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ପ୍ରତ୍ୟେକ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥପାଇଁ ଅପେକ୍ଷାକୃତ କ୍ଷୁଦ୍ର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟରେ ସ୍ୱଧର୍ମୀ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର କେତେକ ରେଖା ଅଛି, ତା ପରେ ଅନେକ ବାଟ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ କୌଣସି ଏକ୍ସ-ରେ ରେଖା ନାହିଁ, ଏହାପରେ ଗୋଟିଏ ଅଞ୍ଚଳରେ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ରେଖା ଅଛି ଇତ୍ୟାଦି । କୌଣସି ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥରୁ ନିଷ୍ପାସିତ କ୍ଷୁଦ୍ରତମ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ଓ ସର୍ବାଧିକ ଭେଦକାରୀ ରେଖା

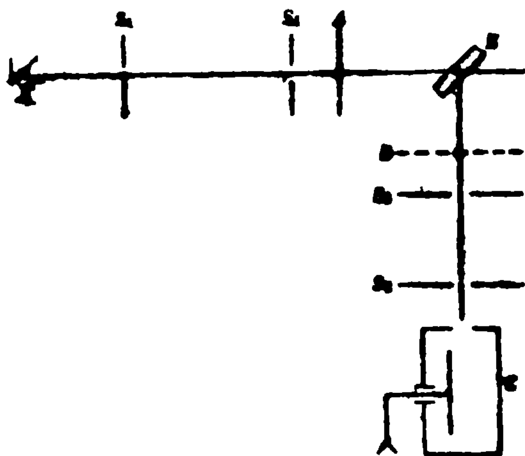
ସବୁ ଗୋଟିଏ ଘନିଷ୍ଠ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ପରସର ମଧ୍ୟରେ ରହନ୍ତି । ଏଗୁଡ଼ିକୁ K ରେଖା କୁହାଯାଏ; ଏହାର ପର କ୍ଷୁଦ୍ର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ପରସର ମଧ୍ୟରେ ଯେଉଁ ଗୁଡ଼ିକ ଥାଆନ୍ତି,



[ଚିତ୍ର.୭.୮ କେତେକ ପ୍ରଧାନ ସ୍ୱଧର୍ମୀ ରେଖା, କେବଳ ଅଳ୍ପ ସଂଖ୍ୟକ L ଓ M ରେଖା ଦେଖାଇଦିଆଯାଇଅଛି]

ସେଗୁଡ଼ିକୁ L ରେଖା କୁହାଯାଏ; ଗୁରୁ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଏହାଠାରୁ ଦୀର୍ଘତର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟରେ କେତେକ ଦଳ ରେଖା ଦେଖାଯାଆନ୍ତି—ସେଗୁଡ଼ିକୁ M ଓ N ରେଖା କୁହାଯାଏ ।

ମୋସ୍‌ଲେଙ୍କର କାର୍ଯ୍ୟର ପ୍ରାୟ ପାଞ୍ଚବର୍ଷ ପୂର୍ବରୁ ବାର୍କଲା ଓ ତାଙ୍କର ସହକର୍ମୀମାନେ ଶୋଷଣ ପରୀକ୍ଷାମାନଙ୍କରୁ ଏକ୍‌ସ୍ ବିକିରଣର ଅସ୍ତିତ୍ୱ ସ୍ପଷ୍ଟ ଭାବରେ ପ୍ରତିଷ୍ଠା କରିଥିଲେ । ଚିତ୍ର ୭·୯ରେ ସେମାନଙ୍କର ପରୀକ୍ଷାର ଯନ୍ତ୍ରପାତି ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଗୋଟିଏ ଉପଯୁକ୍ତ ଭାବରେ ସରଳୀକୃତ ଏକ୍‌ସ-ରେ ରଶ୍ମି ଗୁଚ୍ଛ ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁର ମୁଣ୍ଡା E ଉପରେ ପଡ଼େ, ଏହା ମୂଳ ରଶ୍ମି ଗୁଚ୍ଛକୁ ଶୋଷଣ କରେ ଓ ନିଜର ସ୍ୱଧର୍ମୀ ଦ୍ୱିତୀୟ ସ୍ତର ବିକିରଣ ନିଷ୍କାସନ କରିଥାଏ । ମୌଳିକ ରଶ୍ମି ଗୁଚ୍ଛକୁ ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ନିଷ୍କାସିତ ପ୍ରତିଦୀପ୍ତ ରଶ୍ମି ଗୁଚ୍ଛକ ଗୋଟିଏ ଆୟନନ-ପ୍ରକୋଷ୍ଠ ସାହାଯ୍ୟରେ ମାପକରାଯାଇଥାଏ । ଦ୍ୱିତୀୟ ସ୍ତରରେ ବିକିରକରୁ ବିକିରଣର ଶୋଷଣାଙ୍କ E ଓ ଆୟନନ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ ମଧ୍ୟରେ ଆଲୁମିନିୟମ ପାତଗୁଡ଼ିକୁ



[ଚିତ୍ର ୭·୯ ଦ୍ୱିତୀୟ ସ୍ତର ବିକିରଣ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଆଲୋଚନା କରିବାପାଇଁ ଯନ୍ତ୍ରପାତିର ରେଖାଚିତ୍ର । ଆଲୁମିନିୟମ ଶୋଷଣକାରୀ ପାତସବୁ Aଠାରେ ବା Bଠାରେ ରଖିଦିଆଯାଏ]

ରଖି ସ୍ଥିର କରାଯାଇଥିଲା । ଦ୍ୱିତୀୟ ସ୍ତରର ବିକିରକ ଭାବରେ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ବସ୍ତୁ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇଥିଲା; ବାର୍କଲା ଦେଖିଲେ ଯେ, ପାରମାଣବିକ ଓଜନ ଯେତେ

ଅଧିକ ହେବ, ଏହି ଦ୍ୱିତୀୟ ସ୍ତରର ବକରଣ ସେତିକି ଅଧିକ ଭେଦକାରୀ ହେଉ-ଅଛି । ଏପରି କି ଯେତେବେଳେ ମୂଳ ବକରଣର କଠିନତା ଏକ ପ୍ରଶସ୍ତ ପରିସର ମଧ୍ୟରେ ପରିବର୍ତ୍ତିନ କରାଗଲା, ଗୋଟିଏ ଦତ୍ତ ବସ୍ତୁରୁ ଦ୍ୱିତୀୟ ସ୍ତରର ବକରଣ ଅପରିବର୍ତ୍ତିତ ରହିଲା । ତେବେ, ଏକ୍ସରେ ଟିଉବ୍‌ରେ ବ୍ୟବହୃତ ହେଉଥିବା ଷ୍ଟେନ୍‌ଟ ବସ୍ତୁ ପରିମାଣରେ ବଦଳାଇ ଦିଆଗଲେ, ଗୋଟିଏ ସମୟ ଆସେ ଯେତେବେଳେ ଅଧିକ ପାରମାଣିକ ସଂଖ୍ୟାର ବକରକରୁ ହେଉଥିବା ସ୍ୱଧର୍ମୀ ବକରଣ ବସ୍ତୁ ପରିମାଣରେ କୋମଳ ହୋଇଯାଏ ଓ ଅଧିକ ସହଜରେ ଶୋଷିତ ହୋଇଯାଏ । ମୂଳ ରଶ୍ମିପୁଞ୍ଜର କଠିନତା ଅନ୍ତରେ କମିଗଲେ, ଦ୍ୱିତୀୟ ସ୍ତରର ବକରଣରେ ଶୋଷଣାଙ୍କ ଅପରିବର୍ତ୍ତିତ ରହେ । ଏହିପରି ବାର୍କଲା ପ୍ରତିଷ୍ଠା କଲେ ଯେ, ଉଚ୍ଚ ପାରମାଣିକ ସଂଖ୍ୟା ବିଶିଷ୍ଟ ଦ୍ୱିତୀୟ ସ୍ତରର ବକରକମାନଙ୍କର ଅନ୍ତତଃ ଦୁଇଟି ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ପରିସର ମଧ୍ୟରେ ସ୍ୱଧର୍ମୀ ବକରଣ ରହିଅଛି । ଅଧିକ ଭେଦକାରୀ ରଶ୍ମିକୁ K ବକରଣ ଓ କୋମଳତର ବକରଣକୁ L ବକରଣ ବୋଲି ସେ ନାମକରଣ କରିଥିଲେ ।

7·7 ମୋସଲେଙ୍କ ନିୟମ :

ମୋସଲେଙ୍କ ଫଟୋଗ୍ରାଫ୍‌ରୁ ପ୍ରତ୍ୟେକ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥର K ସିରିଜ୍ ଦୁଇଟି ରେଖାରୂପେ ଦେଖାଦେଲା—ଏଥିରୁ ତୀବ୍ରତରଟିକୁ K_α ଓ ଦୁର୍ବଳଟିକୁ K_β କୁହାଗଲା । (ପର ପରିମାପରୁ ଦେଖାଗଲା ଯେ, K_α ରେଖା ପ୍ରକୃତରେ ଗୋଟିଏ ଦ୍ୱିଧାର ଓ ପ୍ରଥମରୁ ଯାହାକୁ K_β କୁହାଯାଉଥିଲା, ତାହା ପ୍ରକୃତରେ ମଧ୍ୟ ଜଟିଳ) । କୌଣସି ଦତ୍ତ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ ପାଇଁ K_α ରେଖାର ସର୍ବଦା K_β ରେଖା ଅପେକ୍ଷା ଦୀର୍ଘତର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ । (ଚିତ୍ର ୭·୮ରେ ଦେଖାଯାଉଛି) ମୋସଲେ ଦେଖିଲେ, ଗୋଟିଏ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ରେଖାର ତରଙ୍ଗ 'ଦୈର୍ଘ୍ୟ ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁର ପାରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା' ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ କମି ଯାଉଅଛି । ବସ୍ତୁ ପାରମାଣବିକ ଧର୍ମରେ ଯେପରି ପୁନରାବୃତ୍ତି ଦେଖାଯାଏ, ଏଥିରେ ସେପରି ଦେଖାଯାଏନାହିଁ ।

ମୋସଲେ ଆବିଷ୍କାର କଲେ ଯେ, K_α ରେଖାର ସ୍ପନ୍ଦନର ବର୍ଗମୂଳ ବାସ୍ତବରେ ପାରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟାର ମୋଟାମୋଟି ଅନୁପାତୀ । ପ୍ରକୃତରେ ମୋଟାମୋଟି ଭାବରେ ଯେକୌଣସି ଦତ୍ତ ଏକ୍ସରେ ରେଖାର ସ୍ପନ୍ଦନର ବର୍ଗମୂଳକୁ ପାରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟାର ଫଳନ ଭାବରେ ଗ୍ରାଫ୍ ଟାଣିଲେ ମୋଟାମୋଟି ଭାବରେ ଗୋଟିଏ ସରଳରେଖା ମିଳିଥାଏ (ସୂକ୍ଷ୍ମ ପରୀମାପରୁ ଦେଖାଯାଇଅଛି ଯେ, ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ସାମାନ୍ୟ ପରିମାଣରେ ଉପରଆଡ଼କୁ ବକ୍ରିଳ ହୋଇଥାଏ) । ଚିତ୍ର ୭'୧୦ରେ K_α ଓ K_β ରେଖାମାନଙ୍କର ଶକ୍ତିର ବର୍ଗମୂଳକୁ ପାରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟାର ଫଳନ ଭାବରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଯେଉଁ ଗ୍ରାଫ୍‌ରେ ଗୋଟିଏ ଏକ୍ସରେ ରେଖାର ଆବୃତ୍ତିର ବର୍ଗମୂଳକୁ (ସାଧାରଣତଃ ଗୋଟିଏ ଧ୍ରୁବ ଦ୍ୱାରା ଗୁଣନ କରାଯାଇଥାଏ) ପାରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟାର ଫଳନ ଭାବରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଥାଏ, ତାକୁ ମୋସଲେ ଅଙ୍କନ କୁହାଯାଏ ।

ପାରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା Zର ଗୋଟିଏ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ ପାଇଁ K_α ରେଖାର ଆବୃତ୍ତି

$$\nu = 0{\cdot}248 \times 10^{16}\,(Z-1)^2\ HZ \qquad (୭'୨)$$

ସମ୍ପର୍କ ଦ୍ୱାରା ଅତି ଉତ୍ତମ ଭାବରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରିବ ।

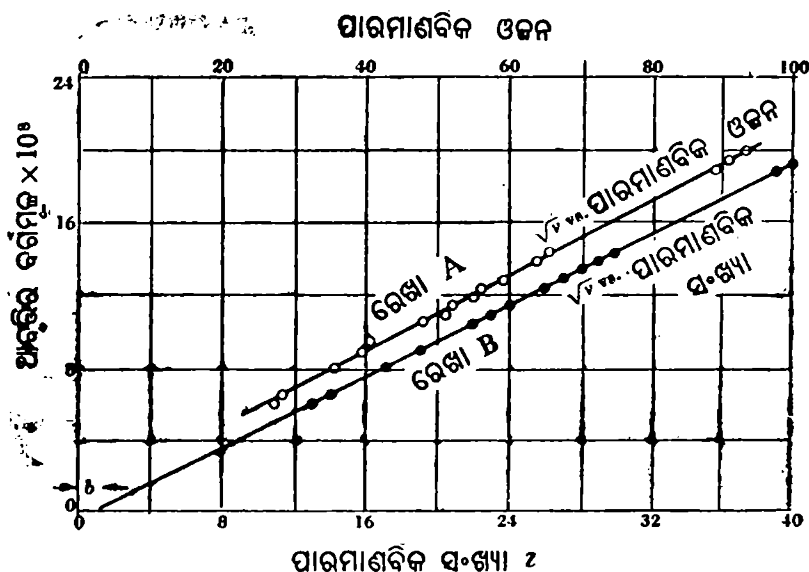
ଅନ୍ୟ ରେଖାମାନଙ୍କ ପାଇଁ

$$\nu = A\,(Z-\sigma)^2 \qquad (୭'୨କ)$$

ଆକାରର ଗୋଟିଏ ସମୀକରଣ ପରୀକ୍ଷାରୁ ମିଳୁଥିବା ଫଳ ସହିତ ଭଲ ମେଳକ ଦେଇଥାଏ । ଏଠାରେ ଗୋଟିଏ ଦତ୍ତ ରେଖା ପାଇଁ A ଓ σ ଦୁଇଟି ଧ୍ରୁବ । ମୋସଲେଙ୍କର ଆନୁମାନିକ ସମ୍ବନ୍ଧର ବୋର୍‌ର ଭିର୍ଙ୍କ ତତ୍ତ୍ୱରୁ (ଅନୁ: ୯'୪) ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ମିଳିଯାଏ ।

ମୋସଲେଙ୍କ କାର୍ଯ୍ୟର ପ୍ରଥମ ପ୍ରଧାନ ପ୍ରଧାନ ପ୍ରୟୋଗମାନଙ୍କରୁ ଗୋଟିଏ ହେଲା, ପିରିୟଡ଼ିକ୍ ଟେବୁଲ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ଅନେକ ସମସ୍ୟାର ସମାଧାନ । ଦେଖାଯାଇ ଥିଲା ଯେ, 27 ନମ୍ବର ମୌଳିକ ସଂଖ୍ୟାଟି ନିକେଲ ନହୋଇ (ପାରମାଣବିକ ଓଜନ 58·71) କୋବାଲ୍ଟ (ପାରମାଣବିକ ଓଜନ 58·93) ହେବ । ରସାୟନବିତ୍‌ମାନେ ଆଗରୁ କହିଥିଲେ ଯେ, ଆର୍ଗନ (ପାରମାଣବିକ ଓଜନ =39·948)· ପଟାସିୟମ୍

(ପାରମାଣବିକ ଓଜନ=39·102) ଆଗରୁ ରହିବା ଉଚିତ । ଏହା ବର୍ତ୍ତମାନ ପ୍ରତିଷ୍ଠା ହୋଇଗଲା । 43 ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥଟି ନମିଳିବା ଓ ରୁଥିନିୟମର ପାରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା 44 ହେବା ଏହାର ଅନ୍ୟ ଅବଦାନ । କୌଣସି ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥର K ସିରିଜର ସ୍ୱଧର୍ମୀ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ମିଳାଲେ ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁରେ ସେହି ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥର ଅବସ୍ଥିତି ନିଶ୍ଚିତ ଭାବରେ



[ଚିତ୍ର ୭·୧୦ ଏକ୍ସରେ ରେଖାର ସ୍ପନ୍ଦନ ଓ ପାରମାଣିକ ସଂଖ୍ୟା (B ରେଖା) ବା ପାରମାଣିକ ଓଜନ (A ରେଖା) ମଧ୍ୟରେ ସମ୍ବନ୍ଧ ଦେଖାଉଥିବା ମୋସଲେଙ୍କ ଅଙ୍କନ]

ପ୍ରମାଣିତ ହୋଇଯାଏ । ମୋସଲେଙ୍କ କାର୍ଯ୍ୟ ପରଠାରୁ କୌଣସି ନୂତନ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥର ଆବିଷ୍କାର କଥା ଜଣାଗଲେ, ସେହି ପଦାର୍ଥ ଯଥେଷ୍ଟ ପରିମାଣରେ ନେଇ ତାର K ଏକ୍ସ ରେ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ଦେଖାଗଲା । ଏଥିରୁ ପଦାର୍ଥର ଅସ୍ତିତ୍ୱ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଭାବରେ ଜଣା ପଡ଼ିଗଲା ।

7·8 ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ଏକ୍ସ ରେ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ :

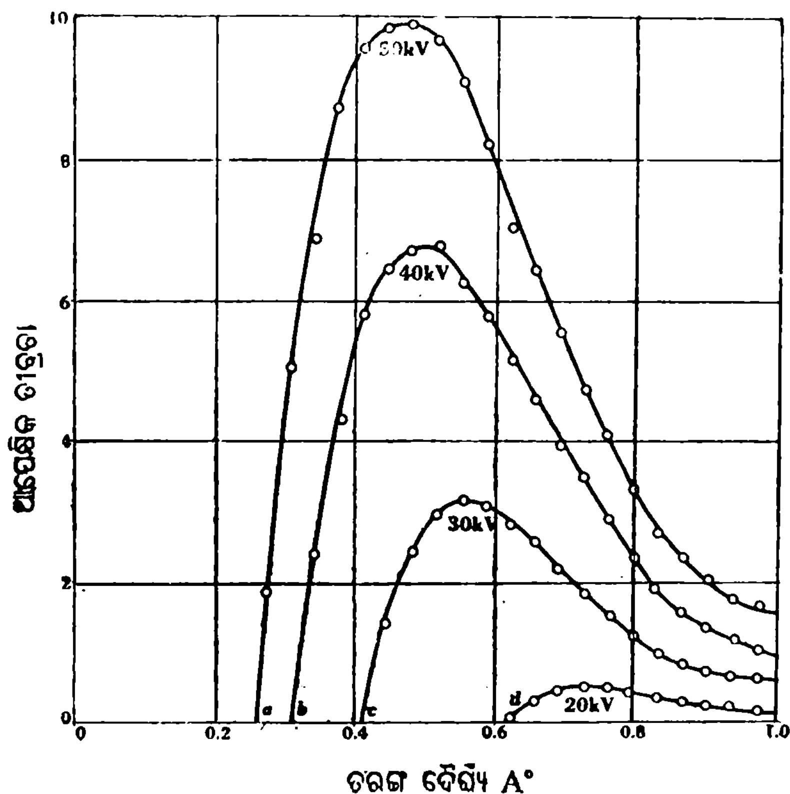
ଏକ୍ସ-ରେର ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରୁ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ବିକିରଣ ଯେ $h\nu$ ଶକ୍ତିର ଫୋଟନଗୁଡ଼ିକ ଆକାରରେ ବିକିରିତ ହୋଇଥାଏ, ତାହା ଜଣାପଡ଼ୁଛି । ଯେତେବେଳେ ବହୁ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁ ଉପରେ ପଡ଼େ, ସର୍ବଦା ଏକ ଚଉଡ଼ା ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ଏକସ-ରେ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ବିକିରିତ ହୁଏ ଓ ତାସାଙ୍ଗରେ ସ୍ବଧର୍ମୀ ବିକିରଣ ରହିଥାଏ । ସମସ୍ତପ୍ରକାରର ମୌଳିକବସ୍ତୁ ଲକ୍ଷ୍ୟସ୍ଥଳରୁ ନିସୃତ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର ସାଧାରଣ ରୂପ ମୂଳତଃ ସମାନ । ଚିତ୍ର ୭·୧୧ରେ ଉଲରେଙ୍କର 1918 ପରୀକ୍ଷାରୁ ଏକ୍ସ-ରେ ଟିଉବ୍‌କୁ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ଗୋଟି ଭୋଲ୍‌ଟ ଦେଇ ମିଳିଥିବା ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ (ଟଙ୍ଗଷ୍ଟାନ) ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଏଠାରେ $I_\lambda d_\lambda$ ହେଲା λ ଓ $\lambda+d\lambda$ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ପରିସର ମଧ୍ୟରେ ବିକିରିତ ହେଉଥିବା ପାୱାର ।

ରେଖାମାନଙ୍କର ତିନଗୋଟି ଗୁଣ ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଆଖିକୁ ଦେଖାଯାଉଛି :—
(୧) ପ୍ରତ୍ୟେକ ବିଭବ ତାରତମ୍ୟ ପାଇଁ ଗୋଟିଏ କ୍ଷୁଦ୍ର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ଲିମିଟ୍ ରହିଅଛି ଅର୍ଥାତ୍ ଗୋଟିଏ ଦତ୍ତ ଟିଉବ୍ ବିଭବ ତାରତମ୍ୟରେ ବିକିରିତ କ୍ଷୁଦ୍ରତମ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ । କିନ୍ତୁ ଦୀର୍ଘ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟପଟେ ତୀବ୍ରତା ଆସ୍ତେ ଆସ୍ତେ କମିଥାଏ । 1915ରେ ଡୂଏନ୍ ଓ ହଣ୍ଟ ଦେଖାଇଲେ ଯେ, କ୍ଷୁଦ୍ର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ଲିମିଟ λ_m ବିଭବ ତାରତମ୍ୟ V ପ୍ରତି ବ୍ୟୁତ୍କ୍ରମ ଅନୁପାତୀ । ଏହା ସ୍ପଷ୍ଟ ଯେ, ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁ Veକୁ ଆଘାତ କରୁଥିବା ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ସର୍ବାଧିକ ଗତିଜ ଶକ୍ତି K_{max} ଏବଂ ଏହାହିଁ ସର୍ବାଧିକ ଶକ୍ତି ଯାହାକି ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ବିକିରଣ କଲାବେଳେ ତ୍ୟାଗ କରିପାରିବ । ଯଦି ଏ ସମସ୍ତ ଶକ୍ତି ଗୋଟିଏ ଫୋଟନକୁ ଯାଏ, ମିଳୁଥିବା ସ୍ପନ୍ଦନ ν_{max} ଓ ଅନୁରୂପ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ λ_{min} ପ୍ଲାଙ୍କ ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନଙ୍କ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ

$$K_{max} = Ve = h\nu_{max} = \frac{hc}{\lambda_{min}} \qquad (୭'୩)$$

ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହେବ । ଏହି ସମ୍ବନ୍ଧକୁ ଡ୍ୟୁଏଲ-ହଣ୍ଟ ନିୟମ କୁହାଯାଏ । ଏଥିରୁ ପ୍ରଥମେ ପ୍ରଥମେ ଡୂଏନ ଓ ତାଙ୍କର ସହକର୍ମୀ λ_{min}କୁ Vର ଫଳନ ଭାବରେ ନେଇ ପ୍ଲାଙ୍କ ଧ୍ରୁବର ନିର୍ଭରଯୋଗ୍ୟ ମୂଲ୍ୟ ନିର୍ଦ୍ଧାରଣ କରିଥିଲେ ।

ବେଳେବେଳେ କ୍ଷୁଦ୍ର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟର ଲିମିଟ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ଏହି ଘଟଣାକୁ ବିପରୀତ ଫଟୋ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ପ୍ରଭାବ ବୋଲି କୁହାଯାଏ । ଏଠାରେ ଆପତନ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଗତିଜ



[ଚିତ୍ର ୭·୧୧ ଟଙ୍ଗଷ୍ଟାନର ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ଏକ୍ସ-ରେ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ଶକ୍ତିର ବଣ୍ଟନ ପାଇଁ ଉଲରେଙ୍କ ରେଖା]

ଶକ୍ତି ବିକିରଣ ଶକ୍ତିରେ ପରିଣତ ହୁଏ; କିନ୍ତୁ ଫଟୋବୈଦ୍ୟୁତିକ ପ୍ରଭାବରେ ବିକିରଣ ଶକ୍ତି, ଅନ୍ତତଃ ଆଂଶିକ ଭାବରେ, ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଗତିଜ ଶକ୍ତିରେ ପରିଣତ ହୁଏ । ଯେତେବେଳେ $h\nu$ ତୁଳନାରେ ϕ_0 ହେୟ ହୁଏ, ସମୀକରଣ (୭·୧୧) ଓ (୭·୩) ଏକା ଆକାର ନେଇଥାଏ ।

ଏହିପରି କ୍ୱାଣ୍ଟମ ତତ୍ତ୍ୱ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ଏକ୍ସ-ରେ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ର କ୍ଷୁଦ୍ରତମ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ଲିମିଟ୍ ବିଷୟରେ ଗୋଟିଏ ସହଜ ବିଚାର ଦେଇ ପାରୁଛି । ଏ ବିଷୟ ପୁରାତନ ଭୌତିକୀ ସଫଳତାର ସହିତ କେବେହେଲେ ବିଚାର କରିନାହିଁ ।

(୨) ଟିଉବରେ ବିଭବ ତାରତମ୍ୟ ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ପ୍ରତ୍ୟେକ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟରେ ତୀବ୍ରତା ବଢ଼ିଯାଏ । ମୋଟ ବିକିରିତ ଏକ୍ସ-ରେ ପାଓ୍ୱାର ଟିଉବରେ ବିଭବ ତାରତମ୍ୟର ବର୍ଗ ପ୍ରତି ଏବଂ ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁର ପାରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା Z ପ୍ରତି ମୋଟାମୋଟି ଭାବରେ ଅନୁପାତୀ । ସାଧାରଣ ଏକ୍ସ-ରେ ବିଭବ ତାରତମ୍ୟରେ ଏକ୍ସରେ ଉତ୍ପାଦନର କ୍ଷମତା E (ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ଦ୍ୱାରା ନଷ୍ଟ ହେଉଥିବା ପାଓ୍ୱାରର ବିକିରିତ ଏକ୍ସ-ରେ ପାଓ୍ୱାର ପ୍ରତି ଭଗ୍ନାଂଶ) ମୋଟାମୋଟି ଭାବରେ

$$\eta = 1{\cdot}4 \times 10^{-9} ZV$$

ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ ।

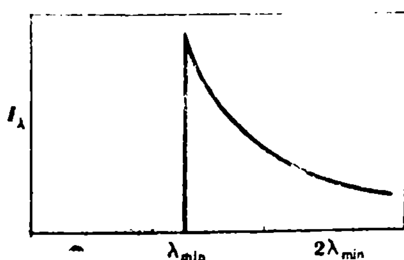
ଗୋଟିଏ ଏକ୍ସ-ରେ ଟିଉବ୍‌ରେ ଆପତିତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ଅଧିକାଂଶ ସେମାନଙ୍କର ସମସ୍ତ ଗତିଜ ଶକ୍ତି ଗୋଟିଏ ସଂଘର୍ଷରେ ହରାଇ ନଥାନ୍ତି । ଗୋଟିଏ ସାଧାରଣ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗୋଟିଏ ମୋଟା ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁରେ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ଆଘାତ ପାଇଥାଏ, ଏଥିରୁ λ_{min} ଠାରୁ ଅଧିକ ଲମ୍ବା ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ଫୋଟନ ସବୁ ବିକିରିତ ହୋଇଥାଏ ।

(୩) ଯେତେବେଳେ ଏକ୍ସ ରେ ଟିଉବ ମଧ୍ୟରେ ବିଭବ ତାରତମ୍ୟ ବଢ଼ାଇ ଦିଆଯାଏ, ଯେଉଁ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟରେ I_λ ରେଖା ତା'ର ସର୍ବାଧିକ ମୂଲ୍ୟ ଲାଭ କରେ, ତାହା କ୍ଷୁଦ୍ରତର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ଅଡ଼କୁ ଘୁଞ୍ଚିଯାଏ । ଚିତ୍ର ୭.୧୧ର ପରୀକ୍ଷା ପାଇଁ ଉଲ୍‌ରେ ପାଇଲେ ଯେ, $\lambda_m\sqrt{V}$ = ଧ୍ରୁବ; ଏଠାରେ λ_m ହେଲା ଯେଉଁ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟରେ ସର୍ବାଧିକ ଶକ୍ତି ବିକିରିତ ହୋଇଥାଏ । ତେବେ, ଅନ୍ୟ ଟିଉବ୍‌ମାନଙ୍କରେ ମିଳୁଥିବା ପରୀକ୍ଷା ଫଳର ସର୍ବଦା ଏହି ସମୀକରଣ ସଙ୍ଗେ ମେଳ ହେବନାହିଁ । ଏଥିରେ ଆଶ୍ଚର୍ଯ୍ୟ ହେବାର କିଛି ନାହିଁ, କାରଣ ଏ ଘଟଣାଟି ଅତ୍ୟନ୍ତ ଜଟିଳ । ଆପତନ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ କେତେକ ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁ ମଧ୍ୟକୁ ପଶିଯାଏ ଏବଂ ଯେଉଁ ଫୋଟନଗୁଡ଼ିକ ବିକିରଣ କରେ,

ସେଗୁଡ଼ିକ ବାହାର ଗ୍ଳସିବା ପୂର୍ବରୁ କେତେକ ପରିମାଣରେ ଶୋଷିତ ହୋଇଥାଏ, ଇତ୍ୟାଦ ।

ଏପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଆମେ ମୋଟା ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁରୁ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ଏକ୍ସ-ରେ ବିକିରଣ କଥା ଆଲୋଚନା କରିଥାଉଁ । ତେବେ, ଯଦି ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁଟି ଯଥେଷ୍ଟ ପରିମାଣରେ ପାତଳ ହୁଏ । ମନେକର ଅତି ପାତଳ ସୁନାପତ୍ର ପରି । ଏଥିରେ ଥିବା ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ସଙ୍ଗେ ଅଳ୍ପ କେତେକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସଂଘର୍ଷ ଘଟାଇବେ, ଏମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ଅଧିକାଂଶ ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁ ମଧ୍ୟରେ ବାଧା ନପାଇ ଗଳି ଗ୍ଳସିବେ । ଗୋଟିଏ ମୋଟା ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁରେ ଯେତେ ସଂଖ୍ୟକ ମନ୍ଥର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଦେଖାଯିବେ, ଗୋଟିଏ ପାତଳ ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁରେ ସେତେ ସଂଖ୍ୟକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଦେଖାଯିବେନାହିଁ । ଏଥିରୁ ଆମେ ଆଶା କରିବା ଯେ, ଗୋଟିଏ ପାତଳ ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁରୁ ଆସୁଥିବା ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର ଶକ୍ତିର ଅଧିକ ଅଂଶ ମୋଟା ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁରୁ ଆସୁଥିବା ବିକିରଣ ତୁଳନାରେ λ_{min} ଲିମିଟ ନିକଟକୁ ରହିବ । ଏହା ପରୀକ୍ଷା ଲବ୍ଧ ଫଳ ସହିତ ମିଳିଥାଏ ।

ଗୋଟିଏ ଅତି ପାତଳ ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁରୁ ମିଳୁଥିବା ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ଶକ୍ତି ବଣ୍ଟନ ରେଖାର ସର୍ବାଧିକ ମୂଲ୍ୟ ନିକଟେ λ_{min} ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟରେ ମିଳିଥାଏ । ଏହା ସମରଫିଲ୍ଡଙ୍କର ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକ ହିସାବରୁ ଓ ପରୀକ୍ଷାରୁ ମଧ୍ୟ ମିଳିଥାଏ । λ_{min}ର କ୍ଷୁଦ୍ର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ପଟେ, ରେଖାଟି ହଠାତ୍ x-ଅକ୍ଷକୁ ଖସି ପଡ଼ିଥାଏ, କିନ୍ତୁ ଦୀର୍ଘତର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟଆଡ଼େ ମୋଟାମୋଟି $1/\lambda^2$କୁ ଅନୁପାତୀ ଭାବରେ ଏହା କମିଥାଏ । ଏହା



[ଚିତ୍ର ୭.୧୨ ଗୋଟିଏ ଅତି ପାତଳ ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁରୁ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ଏକ୍ସ-ରେ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର ଶକ୍ତି ବଣ୍ଟନ]

ଚିତ୍ର ୭'୧୨ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ମୋଟା ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁ ପାଇଁ ଏହି ରେଖା (ଯେପରି ଚିତ୍ର ୭'୧୧ରେ ଅଛି) ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ମୌଳିକ ରେଖାର ମିଶ୍ରଣରୁ ଜନ୍ମିଛି ବୋଲି ବିଚାର କରାଯାଇ ପାରିବ । ଚିତ୍ର ୭'୧୨ ପରି ରେଖାଗୁଡ଼ିଏ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ λ_{min} ମୂଲ୍ୟ ନେଇ ଗଠିତ ହୋଇଥିବେ । ଏପରି ଗୋଟିଏ ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁରେ ଆଶା କରାଯାଇ ପାରିବ ଯେ, ଏଥିରେ ଗୋଟିଏ ସର୍ବାଧିକ ସାମ୍ନାସାମ୍ନି ପ୍ରକାରର ସଂଘର୍ଷ ଥାଇପାରେ—ଏହା ଶକ୍ତି ବର୍ଣ୍ଣନ ରେଖାର ଶୃଙ୍ଗ ବା ସର୍ବାଧିକ ମୂଲ୍ୟର ଅନୁରୂପ ।

7·9 ଏକ୍ସରେ ବିଚ୍ଛୁରଣ ପୁରାତନ :

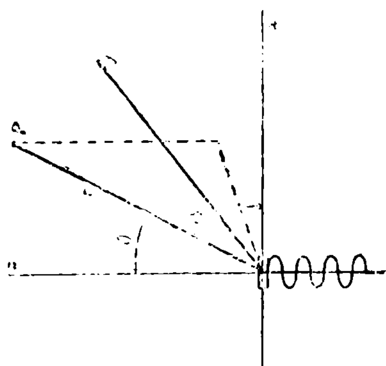
ଏକ୍ସ-ରେ ବିଚ୍ଛୁରଣର ଘଟଣା ଆଧୁନିକ ଭୌତିକୀର ତତ୍ତ୍ୱମାନଙ୍କରେ ଏକ ପ୍ରଧାନ ଅଂଶ ଗ୍ରହଣ କରିଅଛି ଏବଂ ବହୁ ତାତ୍ତ୍ୱିକ ଓ ପରୀକ୍ଷାମୂଳକ ଗବେଷଣାର ବିଷୟବସ୍ତୁ ହୋଇଅଛି । ଜେ. ଜେ. ଥମସନ୍ ଦେଇଥିବା ପ୍ରଥମ ତତ୍ତ୍ୱରେ ଗୋଟିଏ ସମତଳ ପାର୍ଶ୍ୱିଭୂତ ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକ ତରଙ୍ଗ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଭେକ୍ଟର x ଦିଗରେ ଥାଇ (ଚିତ୍ର ୭·୧୩) Z ଅକ୍ଷରେ ଗତି କରିବା ବିଚାର କରିଥିଲେ । ଯଦି ଏହି ତରଙ୍ଗ ଗୋଟିଏ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସହିତ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାରତ ହୁଏ, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ସରଳ ଆବର୍ତ୍ତୀ ଗତି କରିବ ଓ ଏହିପରି କମ୍ପିବାବେଳେ ପୁଣି ଥରେ ବିକିରଣ କରିବ । ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ତ୍ୱରଣ $-a_x = -eE/m$ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହେବ, ଏଠାରେ $\mathbf{E}$ ଅପତିତ ବିକିରଣର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ତୀବ୍ରତା । ପୁରାତନ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ଗୋଟିଏ ତ୍ୱରାନ୍ୱିତ ସ୍ରୋତ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ତରଙ୍ଗ ବିକିରଣ କରିଥାଏ । ଏହାର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଭେକ୍ଟର Pବିନ୍ଦୁରେ ରହେ ଓ ବିସ୍ତାର

$$\vec{E}_\phi = \frac{ea \sin \phi}{4\pi \epsilon_0 c^2 r} \qquad (୭·୪)$$

ହୁଏ, ଏଠାରେ r ହେଲା ତ୍ୱରାନ୍ୱିତ ସ୍ରୋତଠାରୁ P ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଦୂରତା ଏବଂ ϕ ହେଲା $\vec{r}$ ଓ

a ମଧ୍ୟରେ କୋଣ । ଯେତେବେଳେ $a = -e\mathbf{E}/m$ ହୁଅଯାଏ, ଆମେ $\mathbf{E}_\phi$ର ପରିମାଣ ପାଇବା

$$\mathbf{E}_\phi = \frac{e^2 \mathbf{E} \sin\phi}{4\pi \in_0 mc^2 r} \qquad (୭\cdot ୫)$$



[ଚିତ୍ର ୭·୧୩ ବାମରୁ ଆସୁଥିବା ଗୋଟିଏ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ତରଙ୍ଗ ଦ୍ୱାରା ମୂଳବିନ୍ଦୁରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଅବର୍ତ୍ତୀ ଦୋଳନ କରୁଅଛୁ, ଏହା θ କୋଣରେ ଆପତନ ତୀବ୍ରତାର ଗୋଟିଏ ବିଚ୍ଛୁରଣ କରୁଛୁ]

ତୀବ୍ରତା, ବୈଦ୍ୟୁତକ ବିସ୍ତାରର ବର୍ଗ ସହିତ ଅନୁପାତୀ ହୋଇଥିବାରୁ, P ଠାରେ ବିଚ୍ଛୁରିତ ତୀବ୍ରତା ଓ ଆପତନ ତୀବ୍ରତାର ଅନୁପାତ

$$\frac{I_\phi}{I} = \frac{\mathbf{E}_\phi^2}{\mathbf{E}^2} = \frac{e^4 \sin^2\phi}{16\pi^2 \in_0^2 m^2 c^4 r^2} \qquad (୭\cdot ୬)$$

ଯଦି ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଉପରେ ପାର୍ଶ୍ୱିତ ନ ହୋଇଥିବା ବିକିରଣ ପଡ଼ିତ ହୁଏ, $\vec{r}$ ଓ z ଅକ୍ଷ xz ସମତଳକୁ ସ୍ଥିର କରିବା ସୁବିଧାଜନକ ହୁଏ । ଅପତିତ ବୈଦ୍ୟୁତକ

ଭେକ୍ଟର **E** ସେତେବେଳେ x ଓ y ସଂଯୋଜକରେ ସ୍ଥିର କରାଯାଇ ପାରିବ । ଏଗୁଡ଼ିକ ଗଡ଼ରେ ସମାନ ହେବ । x ସଂଯୋଜକମାନଙ୍କ ପାଇଁ ସମୀକରଣ (୭·୬)ରେ $\sin\phi = \cos\theta$, କିନ୍ତୁ y ସଂଯୋଜକମାନଙ୍କ ପାଇଁ $\sin\phi = 1$ । P ଠାରେ ବିଚ୍ଛୁରିତ ତରଙ୍ଗର ମୋଟ ତୀବ୍ରତା

$$I_s = \frac{e^4}{16\pi^2 \in_0^2 m^2 c^4 r^2}\left[\left(\frac{1}{2}\times 1\right)+\left(\frac{1}{2}\times\cos^2\theta\right)\right]$$

$$= \frac{Ie^4}{32\pi^2 \in_0^2 m^2 c^4 r^2}(1+\cos^2\theta) \qquad (୭·୭)$$

ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହେବ; ଏଠାରେ θ ହେଲା $\vec{r}$ ଓ z ଅକ୍ଷ ମଧ୍ୟରେ କୋଣ । ବିଚ୍ଛୁରିତ ତୀବ୍ରତାରେ ସର୍ବାଧିକ ମୂଲ୍ୟ ଆଗୁଆ ଓ ପଛୁଆ ଦିଗରେ ମିଳିଥାଏ; ଗୋଟିଏ ଯୁକ୍ତ ନ୍ୟୂନତମ ମୂଲ୍ୟ $\theta = 90°$ଠାରେ ମିଳିଥାଏ; ସମୀକରଣ (୭·୭)କୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସ୍ଥିରପଟେ r ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ଗୋଲକରେ ସମାକଳନ କରି, ବିଚ୍ଛୁରଣ କ୍ଷମତା P,

$$P_s = \int_0^{\pi} I_s 2\pi r^2 \sin\theta \, d\theta$$

$$= \frac{8\pi}{3}\left(\frac{e^2}{4\pi \in_0 mc^2}\right)^2 I \qquad (୭·୮)$$

ବୋଲି ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଏ; ଏଠାରେ $e^2/4\pi \in_0 mc^2$ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ପୁରାତନ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ [ସମୀକରଣ (୨·୧୬)]

ବିଚ୍ଛୁରିତ ହୋଇଥିବା ପାଓ୍ୱାରରେ ପ୍ରାଥମିକ ତୀବ୍ରତାକୁ ଅନୁପାତକୁ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ବିଚ୍ଛୁରକ -ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ (ବା ବିଚ୍ଛୁରଣାଙ୍କ) ବୋଲି ବୁଝାଯାଏ; ଏହାକୁ σ_e ବୋଲି ଲେଖାଯାଏ,

$$\sigma_e = \frac{8\pi}{3}\left(\frac{e^2}{4\pi \in_0 mc^2}\right)^2 \qquad (୭·୯)$$

ବିଚ୍ଛୁରଣାଙ୍କର ବିମିତି କ୍ଷେତ୍ରଫଳର ବିମିତି; ଏକକ କ୍ଷେତ୍ରଫଳରେ ଆପତିତ ବିକିରଣ ମଧ୍ୟରୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ σ_{e} କ୍ଷେତ୍ରଫଳରେ ପଡ଼ୁଥିବା ପରିମାଣ ବିଚ୍ଛୁରଣ କରିଥାଏ—σ_{e}ର ସଂଖ୍ୟା ମୂଲ୍ୟ ହେଲା $0.666 \times 10^{-28}\ m^2$ ବା 0.666 ବାର୍ଣ୍ଣ (1ବାର୍ଣ୍ଣ $= 10^{-24}\ cm^2$ $= 10^{-28}\ m^2$) । ଥମସନ (ପୁରାତନ) ବିଚ୍ଛୁରଣାଙ୍କ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ ନାହିଁ । ଯଦି ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁର ପ୍ରତ୍ୟେକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଭାବରେ ବିଚ୍ଛୁରଣ କରନ୍ତି, ପାରମାଣିକ ବିଚ୍ଛୁରଣାଙ୍କ σ_{a} ପରମାଣୁର ପାରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା ଓ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବିଚ୍ଛୁରଣାଙ୍କର ଗୁଣଫଳ; $\sigma_{a} = Z\sigma_{e}$ ।

ଥମସନ୍ ତତ୍ତ୍ୱରୁ କେବଳ ବିଚ୍ଛୁରିତ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛର ତୀବ୍ରତା ଜଣାପଡ଼େନାହିଁ, ତା'ର ପାର୍ଶ୍ୱୀକରଣ ଜଣାପଡ଼େ । $\theta = 0$ ଓ $\theta = 180°$ଠାରେ, ଗୋଟିଏ ପାର୍ଶ୍ୱୀଭୂତ ନହୋଇଥିବା ଆପତିତ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛରୁ ବିଚ୍ଛୁରିତ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ପାର୍ଶ୍ୱୀଭୂତ ହୋଇନଥାଏ; କିନ୍ତୁ $\theta = 90°$ରେ ବୈଦ୍ୟୁତ ଭେକ୍ଟରକୁ y ଦିଗର ରଖି ବିଚ୍ଛୁରିତ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ସମତଳ-ପାର୍ଶ୍ୱୀଭୂତ ହୋଇଥାଏ ।

ଯେତେବେଳେ ପ୍ରାଥମିକ ତୀବ୍ରତା I_{0} ଥାଇ ଗୋଟିଏ ଏକ୍ସରେ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ କୌଣସି ବସ୍ତୁର ପାତଳ ଫଳକ ଦେଇ (ମୋଟ $\triangle x$) ଗତିକରେ, ସେହି ଫଳକରେ ଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ବିଚ୍ଛୁରଣ ତୀବ୍ରତାକୁ

$$-\Delta I = \sigma I_{0}\,\triangle x$$

ପରିମାଣରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ କରିଥାଏ, ଏଠାରେ σ କୁ ବସ୍ତୁଟିର ସରଳ ରୈଖିକ ବିଚ୍ଛୁରଣାଙ୍କ କୁହାଯାଏ । ଯଦି ବସ୍ତୁଟିର ପ୍ରତ୍ୟେକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଭାବରେ ବିଚ୍ଛୁରଣ କରେ, ସରଳ ରୈଖିକ ବିଚ୍ଛୁରଣାଙ୍କ ହେବ,

$$\sigma = n\sigma_{e} = \frac{8\pi}{3}\left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_{0} m c^2}\right)^2 n \qquad (୭\cdot୧୧)$$

ଏଠାରେ n ଏକକ ଘନଫଳରେ ଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସଂଖ୍ୟା

σର ବିଚ୍ଛୁରକର ସାନ୍ଦ୍ରତା ସହିତ ଅନୁପାତ ହେଲା ବସ୍ତୁର ବିଚ୍ଛୁରଣାଙ୍କ σ_m । ଗ୍ୟାସପରି ବସ୍ତୁମାନଙ୍କ ପାଇଁ, ଅବଶ୍ୟ ସରଳ ରୈଖିକ ବିଚ୍ଛୁରକ ସାନ୍ଦ୍ରତା ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିଥାଏ, କିନ୍ତୁ $\sigma_m = \sigma/\rho$ ହେଲା ଧ୍ରୁବ । ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁରେ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟାର ପ୍ରଥମ ପାରମାଣବିକ ବିଚାର 1909 ମସିହାରେ ବାର୍କଲା ଓ ତାଙ୍କର ସହକର୍ମୀମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା କାର୍ବନ ଦ୍ୱାରା ଏକ୍‌ସ-ରେର ବିଚ୍ଛୁରଣ ପରୀକ୍ଷାଫଳରୁ ଅମସନ୍‌ଙ୍କ ତତ୍ତ୍ୱ ସାହାଯ୍ୟରେ କରା ଯାଇଥିଲା । ସେମାନେ MoK$_\alpha$ ଏକ୍‌ସ-ରେର ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ଗୋଟିଏ ଗ୍ରାଫାଇଟ୍ ଶୋଷକ ମଧ୍ୟରେ ଚଳାଇଲେ ଓ ଫଟୋ-ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଶୋଷଣ ପାଇଁ ସଂଶୋଧନ କରିସାରି ଦେଖିଲେ ଯେ, σ_mର ମୂଲ୍ୟ ମୋଟାମୋଟି ଭାବରେ କାର୍ବନ ପାଇଁ $0{\cdot}02\ m^2/kg$ ଯଦି $\sigma = n\sigma_0$ ହୁଏ, ତେବେ $\sigma_m = n\sigma_0/\rho$ ଏବଂ ଏକ କିଲୋଗ୍ରାମ ପାଇଁ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ହେଲା,

$$\frac{n}{\rho} = \frac{\sigma_m}{\sigma_0} = \frac{0{\cdot}02\ m^2 kg}{0{\cdot}666 \times 10^{-28}\ m^2/\text{ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ}}$$

$$= 3 \times 10^{26}\ \text{ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ/କେ. ଗ୍ରା.}$$

ପ୍ରତି କିଲୋଗ୍ରାମରେ କାର୍ବନ ପରମାଣୁର ସଂଖ୍ୟା ଆଭୋଗାଡ୍ରୋ ସଂଖ୍ୟା N_Aର ପାରମାଣବିକ ଓଜନ A ପ୍ରତି ଅନୁପାତ ବା

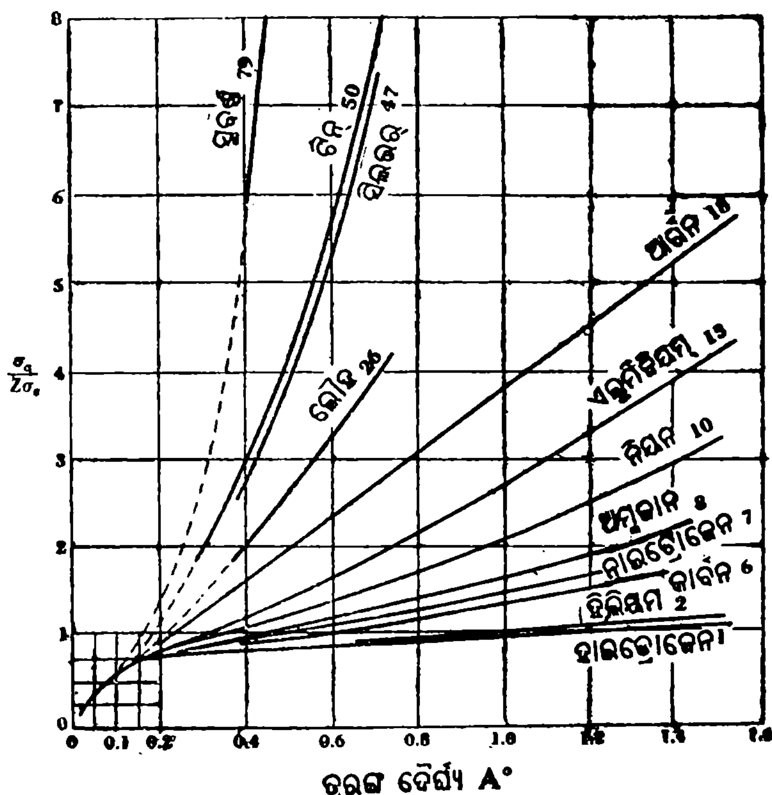
$$\frac{N_A}{A} = \frac{6{\cdot}02 \times 10^{26}\ \text{ପରମାଣୁ/କି. ମୋଲ}}{12\ kg/k\ \text{mole}}$$

$$= 5 \times 10^{25}\ \text{ପରମାଣୁ/କେ.ଗ୍ରା.}$$

ତେଣୁ ପ୍ରତି କାର୍ବନ ପରମାଣୁ ପାଇଁ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ନିଶ୍ଚୟ 6 ହେବ । ପାରମାଣବିକ ତତ୍ତ୍ୱର ବିସ୍ତାରଧାରାରେ ଏହି ନିର୍ଦ୍ଧାରଣ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ, କାରଣ ଏଥିରୁ ଜଣାଗଲା ଯେ ପ୍ରତି ପରମାଣୁ ପାଇଁ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ପାରମାଣବିକ ଓଜନଠାରୁ କମ୍ ଏବଂ ବୋଧହୁଏ ଏହା Aର ଅର୍ଦ୍ଧେକ ।

$\lambda > 0{\cdot}3$A° ପାଇଁ ପରେ କରାଯାଇଥିବା ବିଚ୍ଛୁରଣାଙ୍କ ହିସାବରୁ ଦେଖାଗଲା ଯେ, ଲଘୁ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କ ବିଚ୍ଛୁରଣାଙ୍କ σଟି $n\sigma$ ଠାରୁ ଅଧିକ ହୁଏ (ଚିତ୍ର ୭-୧୪) ।

ପ୍ରଚଳିତ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ଅଧିକ ବିଚ୍ଛୁରଣ ସହଜରେ ବୁଝାଇହୋଇପାରେ । ଯେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ଦୂରତା λ ସହିତ



[ଚିତ୍ର ୭.୧୪ ବିଭିନ୍ନ ପରମାଣୁର ବିଚ୍ଛୁରଣାଙ୍କ σ_aର $Z\sigma_e$ ପ୍ରତି ଅନୁପାତ, ଯଦି ପ୍ରତି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଭାବରେ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦରେ ବିଚ୍ଛୁରଣ କରନ୍ତି, ତେବେ ଯେଉଁ ମୂଲ୍ୟ ମିଳିବ]।

ତୁଳନୀୟ ହୁଏ, ସେତେବେଳେ ସେମାନେ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଭାବରେ ବିଚ୍ଛୁରଣ କରନ୍ତିନାହିଁ । ନିକଟତମ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ବିଚ୍ଛୁରିତ ତରଙ୍ଗସବୁ ଅଳ୍ପ ବହୁତ ଏକକାଳରେ ଉପରିସ୍ଥାପିତ ହୁଅନ୍ତି ଏବଂ ସେହି କାରଣରୁ ଗଠନମୂଳକ ବ୍ୟତିକରଣ ଘଟିଥାଏ । λ

ଗୋଟିଏ କ୍ଷୁଦ୍ର ମୂଲ୍ୟରୁ ବଢ଼ିବାକୁ ଲାଗିଲେ, ପ୍ରଥମେ ଅଭ୍ୟନ୍ତରସ୍ଥ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନେ ସମଚ୍ଛନ୍ଦରେ ବିଚ୍ଛୁରଣ କରିଥାନ୍ତି; ଅଧିକ ଦୀର୍ଘ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଅଧିକରୁ ଅଧିକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସମକାଳରେ ବିଚ୍ଛୁରଣ କରିଥାନ୍ତି । ଯେତେବେଳେ ପାରମାଣବିକ ବ୍ୟାସ ତୁଳନାରେ λ ଅଧିକ ହୁଏ, ସେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁର Z ଇଲେକ୍ଟ୍ରନରୁ ଆସୁଥିବା ସମସ୍ତ ତରଙ୍ଗଙ୍କର ତୁଳନାତ୍ମକ କଳା କମ୍ ହୁଏ; ତେଣୁ ବିଚ୍ଛୁରିତ ତରଙ୍ଗମାନଙ୍କର ବିସ୍ତାର ମୋଟାମୋଟି Zକୁ ଅନୁପାତୀ ହୁଏ ଓ ବିଚ୍ଛୁରିତ ତୀବ୍ରତା Z^2କୁ ଅନୁପାତୀ ହୁଏ । ଗଣନମୂଳକ ବିଚ୍ଛୁରଣର ତତ୍ତ୍ୱ ରଲେ ଦେଇଥିଲେ, ପାରମାଣବିକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସମୂହ ବିଚ୍ଛୁରଣକୁ ସାଧାରଣତଃ ରଲେ ବିଚ୍ଛୁରଣ ବୋଲି କୁହାଯାଇଥାଏ । କ୍ଷୁଦ୍ର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟମାନଙ୍କରେ ଏହା କମିବା କ୍ଲେଇନ ଓ ନିଶିନା (ଅନୁ ୧୪-୨) ଆପେକ୍ଷିକ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଦ୍ୱାରା ବିଚ୍ଛୁରଣର ହିସାବ କରି ଦେଖାଇଛନ୍ତି ।

ଚିତ୍ର ୭·୯ର ରେଖାମାନଙ୍କରୁ ପ୍ରତି କାର୍ବନ ପରମାଣୁ ପାଇଁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସଂଖ୍ୟା ବାର୍କଲାଙ୍କ ପରିମାପରୁ କିପରି ବାହାରିଲା ଜଣାଯାଉଅଛି । ସେ ଯଦି ଅଧିକ ପାରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟାର ଗୋଟିଏ ବିଚ୍ଛୁରକ ବାଛି ଆନ୍ତେ, ବା Mo K_α (0·707A°) କୁ ନେଇ CuK_α ବିକିରଣ (1·5A°) ନେଇଥାଆନ୍ତେ, ତାଙ୍କର ହିସାବ ବିଶେଷ ଭାବରେ ଭୁଲ ହୋଇ ଯାଇଥାଆନ୍ତା ।

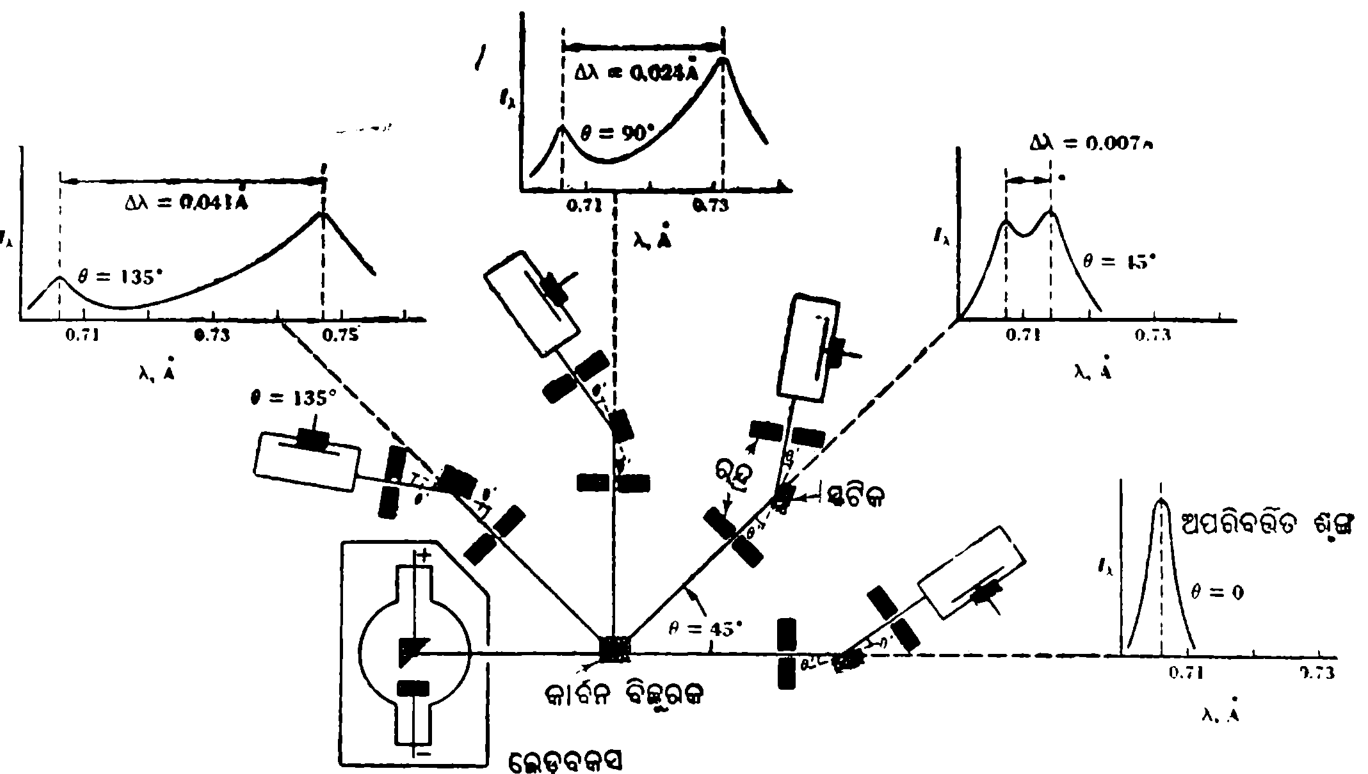
7·10 କମ୍ପଟନ ବିଚ୍ଛୁରଣ :

ବିଚ୍ଛୁରଣର ପୁରାତନ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ପାରମାଣବିକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଆପତନ ତରଙ୍ଗମାନଙ୍କର ବିଦ୍ୟୁତ ଭେକ୍ଟର ଦ୍ୱାରା ସରଳ ଆବର୍ତ୍ତୀ ଦୋଳନ କରିଥାନ୍ତି: ତ୍ୱରାନ୍ୱିତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନେ ଏକା ସ୍ପନ୍ଦନରେ ବିକିରଣ କରିଥାନ୍ତି । ଆପତନ ବିକିରଣର ସ୍ପନ୍ଦନରେ ବିଚ୍ଛୁରଣ ହେବା ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର ସମସ୍ତ ପରିସର ମଧ୍ୟରେ ଦେଖାଯାଇଥାଏ । ତେବେ ଏହା ଅଧିକ ସ୍ପନ୍ଦନମାନଙ୍କରେ ଦୁର୍ବଳ ହୋଇଯାଇଥାଏ । 1914 ପୂର୍ବରୁ ଗ୍ରେ ଓ ଅନ୍ୟମାନେ ଦେଖାଇଥିଲେ ଯେ, ବିଚ୍ଛୁରିତ ଏକ୍ସରେ ଆପତନ ଏକ୍ସରେ ଅପେକ୍ଷା ଅଧିକ ସହଜରେ ଶୋଷିତ ହୋଇପାରେ । ଏଥିରୁ ଜଣାଯାଉଛି ଯେ ଗଡ଼୍‌ରେ ଦେଖିଲେ ବିଚ୍ଛୁରିତ ଫୋଟନମାନଙ୍କର ଶକ୍ତି ଊଣା ।

କାର୍ବନ ପରମାଣୁମାନଙ୍କରେ ଏକରଙ୍ଗୀ ଏକ୍ସରେ ପକାଇ ସେଥିରୁ ମିଳୁଥିବା ଏକ୍ସରେ ସ୍ପନ୍ଦନଗୁଡ଼ିକୁ ଅତି ସୂକ୍ଷ୍ମଭାବରେ ମାପି 1923ରେ କମ୍ପଟନ ପ୍ରକାଶ କରିଥିଲେ । ସେ ଦେଖିଲେ ଯେ ବିଚ୍ଛୁରିତ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛରେ ଦୁଇଟି ସ୍ପନ୍ଦନ ଥାଏ । ଗୋଟିଏ ଆପତିତ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛର ସ୍ପନ୍ଦନ ସହ ସମାନ ଓ ଅନ୍ୟଟି ସାମାନ୍ୟ କମ୍ । ବିକିରଣ କ୍ୱାଣ୍ଟମତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ କମ୍ପଟନ ଗୋଟିଏ ସମ୍ପର୍କ ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ କଲେ । ଏହା ପରୀକ୍ଷାରୁ ମିଳୁଥିବା ନିମ୍ନ ସ୍ପନ୍ଦନରେ ପାରିମାଣିକ ଭାବରେ ବିଚ୍ଛୁରଣ ଦେବାକୁ ସମର୍ଥ ହେଲା । ଏହି କମ୍ପଟନ ପ୍ରଭାବ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ବିକିରଣର କଣିକାଗୁଣର ସର୍ବୋତ୍କୃଷ୍ଟ ପ୍ରମାଣମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଅନ୍ୟତମ । ବୋଧହୁଏ । ଏହି ପ୍ରଭାବ ଅନ୍ୟ ଯେ କୌଣସି ପରୀକ୍ଷା ଅପେକ୍ଷା ଭୌତିକବିତ୍‌ମାନଙ୍କୁ କ୍ୱାଣ୍ଟମ୍‌ତତ୍ତ୍ୱ ଗ୍ରହଣ କରିବାପାଇଁ ଅଧିକ ପରିମାଣରେ ପ୍ରବର୍ତ୍ତାଇ ପାରିଥିଲା ।

MoK_α ବିକିରଣ ବିଚ୍ଛୁରଣ କରିବାପାଇଁ କମ୍ପଟନ ଗ୍ରାଫାଇଟ୍ ବ୍ଲକ ବ୍ୟବହାର କରିଥିଲେ ଓ ବିଚ୍ଛୁରିତ ଫୋଟନମାନଙ୍କର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ଗୋଟିଏ ବ୍ରାଗ୍ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରୋମିଟର (ଚିତ୍ର ୭.୧୫) ସାହାଯ୍ୟରେ ମାପ କରିଥିଲେ । ପ୍ରତି ସସୀମ ବିଚ୍ଛୁରଣ କୋଣରେ ସେ ବିଚ୍ଛୁରିତ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛରେ ଦୁଇଟି ଶୃଙ୍ଗ ଦେଖିବାକୁ ପାଇଥିଲେ, ଗୋଟିଏ ଆପତିତ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ 0·707A°ରେ ଓ ଦ୍ୱିତୀୟଟି ଏହାଠାରୁ $\Delta\lambda$ ପରିମାଣ ଅଧିକରେ; $\Delta\lambda$ କୋଣ ଉପରେ $\Delta\lambda = 0{\cdot}024\,(1-\cos\theta)$ A° ସମ୍ପର୍କ ଅନୁସାରେ ନିର୍ଭରଶୀଳ । କମ୍ପଟନ ପରେ ଦେଖାଇଲେ ଯେ, $\Delta\lambda$ ବିଚ୍ଛୁରଣ ବସ୍ତୁ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେନାହିଁ ।

ବିସ୍ଥାପିତ ସଂଯୋଜକର ଅବସ୍ଥିତି ବୁଝାଇବା ପାଇଁ କମ୍ପଟନ ସାହସର ସହିତ ବିକିରଣ ଶକ୍ତିର କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଚିତ୍ର ବ୍ୟବହାର କରିଥିଲେ । ସେ ଅନୁମାନ କଲେ ଯେ, ବିଚ୍ଛୁରଣ ପ୍ରଣାଳୀ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଓ ଗୋଟିଏ ଫୋଟନ ମଧ୍ୟରେ ଏକ ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ସଂଘର୍ଷ ଭାବରେ ନିଆଯାଇପାରେ । ଏଥିରେ ଯାନ୍ତ୍ରିକର ଦୁଇଟି ନିୟମ, ଶକ୍ତିର ସଂରକ୍ଷଣ ଓ ସଂବେଗର ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମ ଦୁଇଟି, କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହେବ । $h\nu$ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ଆପତିତ ଫୋଟନ ପ୍ରଥମରୁ ସ୍ଥିର ଥିବା ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସହ ବାଧାପ୍ରାପ୍ତ ହେଉ । ଫୋଟନ θ କୋଣରେ ବିଚ୍ଛୁରିତ ହେଉ, କିନ୍ତୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ϕ ଦିଗରେ ଅପସରିତ ହେଉ (ଚିତ୍ର ୭.୧୬) ଇଲେକ୍ଟ୍ରନକୁ ଦିଆଯାଇଥିବା ଗତିଜ ଶକ୍ତି K ସମୀକରଣ (୬.୧୨) ଅନୁସାରେ $(m-m_0)c^2$ । ଯଦି ν_0 ବିଚ୍ଛୁରିତ ଫୋଟନର ସ୍ପନ୍ଦନ ହୁଏ, ଶକ୍ତିର ସଂରକ୍ଷଣ



[ଚିତ୍ର ୨.୧୫ MoK_α ଏକ୍ସରେ ର ($\lambda = 0{\cdot}707 A^\circ$) θ କୋଣରେ ବିଚ୍ଛୁରଣ, ବିଚ୍ଛୁରିତ ବିକିରଣରେ ଦୁଇଟି ଶୃଙ୍ଗ ଦେଉଅଛି—ଗୋଟିଏ ଅପରିବର୍ତ୍ତିତ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟରେ ଓ ଦ୍ୱିତୀୟଟି $\lambda \Delta 0{\cdot}024\ (1 - \cos\theta)$ ଅଧିକ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟରେ]

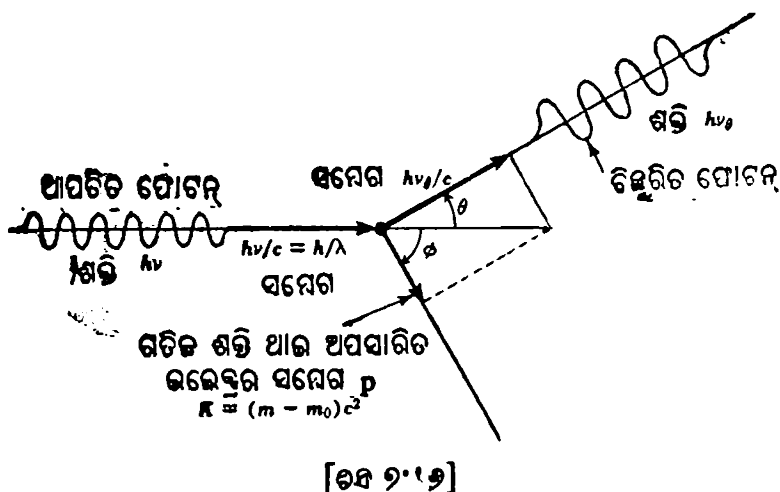
ନିୟମ ଅନୁସାରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଗତିଜ ଶକ୍ତି ଓ ବିକ୍ଷୁରିତ ଫୋଟନର ଶକ୍ତିର ଯୋଗଫଳ ଆପତିତ ଫୋଟନର ଶକ୍ତି ସହିତ ସମାନ ହେବା ଦରକାର ବା

$$h\nu = h\nu_0 + (m - m_0)c^2 \qquad (୭·୧୨)$$

ପ୍ରତି ଫୋଟନର ସଂବେଗ ଏହାର ଶକ୍ତି $h\nu$କୁ ଆଲୋକର ବେଗ c ରେ ଭାଗ କଲେ ମିଳିଥାଏ ବା h/λ । ସଂବେଗ ଗୋଟିଏ ଭେକ୍ଟର ହୋଇଥିବାରୁ ଓ ସଂରକ୍ଷିତ ହେଉଥିବାରୁ, x ଓ y ସଂଯୋଜକଗୁଡ଼ିକ (ଚିତ୍ର ୭·୧୬) ନିମ୍ନସ୍ଥ ସମୀକରଣ

$$\frac{h\nu}{c} = \frac{h\nu_0}{c}\cos\theta + P\cos\phi \qquad (୭·୧୩କ)$$

$$0 = \frac{h\nu_0}{c}\sin\theta + P\sin\phi \qquad (୭·୧୩ଖ)$$



[ଚିତ୍ର ୭·୧୬]

ମାନିବେ । ଏଠାରେ P ହେଲା ଅପସରିତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ସଂବେଗ ($\sin\phi$ ସଙ୍ଗେ ଯୁକ୍ତ ଚିହ୍ନ ଅଛି କାରଣ x ଅକ୍ଷଠାରୁ ଘଣ୍ଟାକଣ୍ଟାର ବିପରୀତ ଦିଗରେ ମାପ କଲେ ସବୁ କୋଣ ଯୁକ୍ତ ହେବ ବୋଲି ନିଆଯାଇଅଛି; ତେଣୁ ଚିତ୍ର ୭·୧୬ରେ ϕ ଗୋଟିଏ ବିଯୁକ୍ତ କୋଣ) ।

ଯଦି $v/c = 1/\lambda$ ଦ୍ୱାରା ଦୁଇ ଫୋଟନର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଏ, ଓ $P = m_o v/\sqrt{1-(v/c)^2}$ ବୋଲି ମନେ ପକାଯାଏ, ଆମେ ସମୀକରଣ (୭·୧୩କ, ଖ)କୁ ଏମ୍ନମତେ ଲେଖି ପାରିବା;

$$\frac{h}{\lambda} - \frac{h\cos\theta}{\lambda_0} = \frac{m_o v\cos\phi}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}} \quad \frac{h}{\lambda_0}\sin\theta$$

$$= -\frac{m_o v\sin\phi}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \text{ ।}$$

ଏହି ଦୁଇ ସମୀକରଣର ବର୍ଗ ନେଇ ଯୋଗ କଲେ ϕ ନିଷ୍କାସିତ ହୋଇଯିବ ଓ ମିଳିବ,

$$\frac{h^2}{\lambda^2} + \frac{h^2}{\lambda_0^2} - \frac{2h^2}{\lambda\lambda_0}\cos\theta$$

$$= \frac{m_o^2 v^2}{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2} = \frac{m_o^2 c^2}{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2} - m_o^2 c^2 \qquad (୭·୧୪)$$

ସେହିପରି ସମୀକରଣ (୭·୧୨)କୁ c ଦ୍ୱାରା ଭାଗ କରାଯାଇପାରେ ଓ ଲେଖାଯାଇପାରେ

$$\frac{h}{\lambda} - \frac{h}{\lambda_0} + m_o c = \frac{m_o c}{\sqrt{1-\left(\frac{v}{c}\right)^2}} \qquad (୭·୧୨କ)$$

ଏହାର ବର୍ଗ ନେଲେ ମିଳିବ

$$\frac{h^2}{\lambda^2} + \frac{h^2}{\lambda_0^2} - \frac{2h^2}{\lambda\lambda_0} + 2m_o ch\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_0}\right)$$

$$+ m_o^2 c^2 = \frac{m_o^2 c^2}{1-\frac{v^2}{c^2}} \qquad (୭·୧୫)$$

ସମୀକରଣ (୭'୧୪)କୁ (୭'୧୫)ରୁ ପ୍ରୟୋଗ କଲେ

$$\frac{2h^2}{\lambda\lambda_0}(1-\cos\theta)-2m_0ch\left(\frac{1}{\lambda}-\frac{1}{\lambda_0}\right)=0$$

ବା $\triangle\lambda=\lambda_0-\lambda=\frac{h}{m_0c}(1-\cos\theta)$

$$=0{\cdot}02426\ (1-\cos\theta)\ A^\circ \qquad (୭'୧୭)$$

ତେଣୁ କମ୍ପଟନ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟର ବିସ୍ଥାପନ ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ଫଳ ସହିତ ଉତ୍ତମ ଭାବରେ ମିଳିଥାଏ । କମ୍ପଟନ ବିଚ୍ଛୁରଣ ଫୋଟନମାନଙ୍କର କଣିକାଗୁଣ ପ୍ରକାଶ କରୁଅଛି ।

$\frac{h}{m_0c}$ ପରିମାଣଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର କମ୍ପଟନ୍ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ନାମରେ ପରିଚିତ । ଏହା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ସ୍ଥିର ଶକ୍ତି m_0c^2 ସହିତ ସମାନ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଫୋଟନର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟର ଅନୁରୂପ । ସମସ୍ତ ସମୟରେ ଅନ୍ୟ କଣିକାମାନଙ୍କୁ ଏହି ଧାରଣା ପ୍ରୟୋଗ କରିବା ଲାଭଜନକ ହୋଇଥାଏ; ତେଣୁ ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନର ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ M_P ହେଲେ, ତା'ର କମ୍ପଟନ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ହେବ h/M_Pc ।

ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟରେ କମ୍ପଟନ ବିସ୍ଥାପନ, ସମୀକରଣ (୭'୧୭), ବିଚ୍ଛୁରଣ କୋଣ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ; ଏହା ଆପତିତ ଫୋଟନର ଶକ୍ତି ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେନାହିଁ । ଅନ୍ୟ ପକ୍ଷରେ ଆପତିତ ଓ ବିଚ୍ଛୁରିତ ଫୋଟନମାନଙ୍କର ଶକ୍ତି ତାରତମ୍ୟ ଆପତିତ ଫୋଟନର ଶକ୍ତି ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଅଧିକ ବେଗରେ ବଢ଼ିଯାଏ । ସମୀକରଣ (୭'୧୭)କୁ ନିମ୍ନ ପ୍ରକାରରେ ଲେଖିଲେ ଏହା ସହଜରେ ଦେଖିହେବ,

$$\frac{1}{h\nu_0}-\frac{1}{h\nu}=\frac{1}{m_0c^2}(1-\cos\theta) \qquad (୭'୧୭କ)$$

କମ୍ପଟନଙ୍କ ପରୀକ୍ଷାମୂଳକ କାର୍ଯ୍ୟରେ କେବଳ ଯେ ଗୋଟିଏ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ରେଖା ଦେଖାଦିଏ, ତା ନୁହେଁ, ପ୍ରାଥମିକ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ରେଖା ମଧ୍ୟ ଦେଖାଦିଏ । ଏହି ଅପରିବର୍ତ୍ତିତ ରେଖାଟି ଫୋଟନ ଧାରଣା ଅନୁସାରେ ବିଚାର କଲେ ହେବ,

ଗୋଟିଏ ବନ୍ଧ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ସହିତ ଫୋଟନର ସଂଘର୍ଷ ଫଳରେ ଏହା ମିଳିଥାଏ—ଏହା ଏତେ ଜୋରରେ ପରମାଣୁ ସଙ୍ଗେ ବାନ୍ଧି ହୋଇଥାଏ ଯେ, ସମସ୍ତ ପରମାଣୁ ସହିତ (ଏପରିକି ସମସ୍ତ ସ୍ଫଟିକ ସହିତ) ଅପସରିଯାଏ । ଏପରି ଏକ ସଂଘର୍ଷରେ ମିଳୁଥିବା ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟର ବିସ୍ଥାପନ m_oକୁ ସମୀକରଣ (୭·୧୭)ରେ ଅପସରିଯାଉଥିବା ପରମାଣୁର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଦ୍ୱାରା ସ୍ଥାନାନ୍ତରିତ କଲେ ମିଳିଥାଏ ଏବଂ ଏହା ଏତେ କମ୍ ଯେ ସାଧାରଣ ଏକ୍ସରେ ଫୋଟନମାନଙ୍କରେ ଦେଖାଯିବା ସମ୍ଭବ ହୋଇ ନଥାଏ ।

ଅପରିବର୍ତ୍ତିତ ରେଖା ତୁଳନାରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ରେଖା ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ଭାବରେ ଅଧିକ ଚଉଡ଼ା ହୋଇଥାଏ । ଏହା ବିସ୍ତାର କରିବାପାଇଁ ଅଧିକାଂଶ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପ୍ରଥମରୁ ସ୍ଥିର ନଥାନ୍ତି ଏବଂ ସେମାନଙ୍କର ପ୍ରାଥମିକ ଶକ୍ତି ଓ ସଂବେଗ ଥାଏ ବୋଲି ଧରାଯାଏ ।

7·11 କମ୍ପଟନ ଅପସରିତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ :

କମ୍ପଟନ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ମିଳୁଥିବା ଅପସରିତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସବୁ ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଖୋଜାଗଲେ । ସି. ଟି. ଆର ଉଇଲସନ୍ ଓ ବୋଥେ ଏମାନଙ୍କୁ ପାଇଲେ । ଅପସରିତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ମାନଙ୍କର ଗତିଜ ଶକ୍ତି $K=(m-m_o)c^2$ ସମୀକରଣ (୭·୧୬) ଦ୍ୱାରା

$$K=(m-m_o)c^2=h\nu-h\nu_0 \qquad (୭·୧୬କ)$$

ଆକାରରେ ପ୍ରକାଶିତ ହୁଏ । ଯଦି ϵ ଟି $\frac{h\nu}{m_o c^2}$ ପ୍ରକାଶ କରେ, ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇ ପାରିବ ଯେ,

$$K=h\nu\frac{2\epsilon\cos^2\phi}{(1+\epsilon)^2-\epsilon^2\cos^2\phi} \qquad (୭·୧୭)$$

$$K=h\nu\frac{\epsilon\ (1-\cos\theta)}{1+\epsilon(1-\cos\theta)} \qquad (୭·୧୭କ)$$

ବେଶ 1927 ବେଲକୁ ଚୁମ୍ବକ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରୋଗ୍ରାଫ୍ ବ୍ୟବହାର କରି ଦେଖାଇଥିଲେ ଯେ, ଅପସରିତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପାଇଁ Kର ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ମୂଲ୍ୟ ତତ୍ତ୍ୱ ସହିତ ମେଳ ଖାଉଅଛି । ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ବିକ୍ଷୁରଣ କୋଣ ϕ ଓ ଫୋଟନମାନଙ୍କ ପାଇଁ θ ମଧ୍ୟରେ ସମ୍ବନ୍ଧ

$$\cos \phi = (1 + \epsilon) \tan \theta/2 \qquad (୭.୧୮)$$

ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ।

କମ୍ପଟନ ତତ୍ତ୍ୱ ଫୋଟନର ବିଛୁରଣ ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଯୁଗପତ୍ ଭାବରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଅପସରଣ ଘଟିଥାଏ ଓ ସଂଘର୍ଷରେ ସଂବେଗ ଓ ଶକ୍ତି ଉଭୟ ସଂରକ୍ଷିତ ହୁଅନ୍ତି । ଯୁଗପତ୍ତତା ଓ ସଂରକ୍ଷଣ ଆବଶ୍ୟକତା ଯୁଗ୍ମଲଙ୍କ ସଂଗ୍ରାହକ ଓ ସଂପାତ୍ ଚୌଶଳ ବ୍ୟବହାର କରି ବହୁ ପରୀକ୍ଷକ ବହୁ ଯତ୍ନର ସହିତ ପ୍ରମାଣ କରି ସାରିଛନ୍ତି । ଗୋଟିଏ ସଂଗ୍ରାହକ θରେ ରହି ଫୋଟନର $h\nu$ ମାପ କରେ ଓ ଦ୍ୱିତୀୟ ସଂଗ୍ରାହକଟି ଅପସରିତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ ϕ ଓ K ଦିଏ । ପରୀକ୍ଷାରେ ରହୁଥିବା ଭ୍ରମ ମଧ୍ୟରେ, θ କୋଣରେ ବିକ୍ଷିପ୍ତ ହେଉଥିବା ପ୍ରତି କମ୍ପଟନ ବିଛୁରକ ପାଇଁ ସମୀକରଣ (୭.୧୮ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ କୋଣ ϕ ରେ ଗୋଟିଏ ଅପସରିତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଅଛି; ଏହାର ଗତିଜ ଶକ୍ତି ସମୀକରଣ (୭.୧୭ଖ) ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହେଉଅଛି । ଯୁଗପତ୍ତାର ସମସ୍ତ ଲିମିଟ୍ ଅନେକ ପରୀକ୍ଷାରେ 2×10^{-8} Sରୁ କମ୍ ଓ କେତେକ କ୍ଷେତ୍ରରେ 10^{-11} Sରୁ କମ୍ ।

ଏ ଆଲୋଚନା ସାରା ସାଧାରଣ ପ୍ରଚଳିତ ଅନୁମାନଟିଏ କରାଯାଇଛି—ଅର୍ଥାତ୍ ଅପସରିତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ବଦ୍ଧ ନୁହେ ଓ ପ୍ରଥମରୁ ସ୍ଥିର ରହିଥାଏ । ଏହି ଅନୁମାନ କେବଳ ସତ୍ୟ ହେବ, ଯଦି ଅପସରିତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ତା ପରମାଣୁ ସଙ୍ଗେ ଯେଉଁ ଶକ୍ତିରେ ବାନ୍ଧିହୋଇ ରହିଅଛି, ତା ତୁଳନାରେ ବହୁ ପରିମାଣରେ ଗତିଜ ଶକ୍ତି ଅପସରିତ ହେବାବେଳେ ଲାଭ କରେ । ଆବଦ୍ଧ ହେବାର ଫଳ ହେବ $\Delta\lambda$କୁ ସାମାନ୍ୟ ପରିମାଣରେ କମାଇଦେବା । କମ୍ପଟନ ପ୍ରଣାଳୀ ସାଙ୍ଗକୁ (ଏହି ପ୍ରଣାଳୀରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ପରମାଣୁରୁ ଅଲଗା ହୋଇଯାଏ) ସ୍ମେକଲ-ରମନ ପ୍ରଣାଳୀ ମଧ୍ୟ ରହିଅଛି ଏହି ପ୍ରଣାଳୀରେ ବିକ୍ଷିପ୍ତ ବିକିରଣରେ ସ୍ପନ୍ଦନ ଯେଉଁ ପରିମାଣରେ ବଦଳିଯାଏ, ତାହା ବିଛୁରଣକାରୀ ପରମାଣୁର ଦୁଇ ବଦ୍ଧ ଅବସ୍ଥା ମଧ୍ୟରେ ସଂକ୍ରମଣର ଅନୁରୂପ ।

କମ୍ପଟନ ବା ପରାବର୍ତ୍ତିତ ରେଖା ଅପେକ୍ଷାକୃତ ସ୍ୱଳ୍ପ ଶକ୍ତିରେ ବହୁତ ବେଶୀ ଚଉଡ଼ା । ଏହି ଚଉଡ଼ା ମାପମାତ୍ର ମାନରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ଗତି ଲାଗି ଘଟିଥାଏ ବୋଲି ଅନୁମାନ କରାଯାଇପାରେ । କମ୍ପଟନ ପ୍ରଭାବ ଲାଗି ଆମର ସରଳ ବ୍ୟାଖ୍ୟାର

ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପ୍ରଥମରୁ ସ୍ଥିର ଅଛି ବୋଲି ଅନୁମାନ କରାଯାଇଅଛି; ଯଦି ଆପତନ ରଶ୍ମିର ଦିଗରେ ଏହାର ଗତିବେଗର ଗୋଟିଏ ଯୁକ୍ତ ବା ବିଯୁକ୍ତ ସଂଯୋଜକ ଅଛି ବୋଲି ଧରାଯାଏ, ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟର ବିସ୍ଥାପନ ଭିନ୍ନ ହେବ । ପାରମାଣବିକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଗତିବେଗର ସାହାଯ୍ୟ ବଣ୍ଟନ ହେଉଅଛି—ଏଥିରୁ ଚଉଡ଼ା ହିସାବ କରାଯାଇପାରିବ । ଏହି ଚଉଡ଼ା ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ଫଳ ସହିତ ମିଳିଥାଏ । νକୁ ଏହାପରେ ଆହୁରି ବଢ଼ାଇଲେ କମ୍ପଟନ ରେଖା କ୍ରମେ ସରୁଆ ହୋଇଯାଏ । ଫଳତଃ, ଆପତନ ରଶ୍ମିର ଦିଗ ଛାଡ଼ିଦେଲେ ଅନ୍ୟ କୌଣସି ଦିଗରେ ଅପରିବର୍ତ୍ତିତ ରେଖା କମ୍ପଟନ ରେଖା ଅପେକ୍ଷା ଦୁର୍ବଳ ହୋଇଯାଏ । ବଡ଼ ବଡ଼ ବିଚ୍ଛୁରଣ କୋଣରେ ଶ୍ରେଷ୍ଠ ଶ୍ରେଷ୍ଠ କୋଣ ଅପେକ୍ଷା ଏହା ଶୀଘ୍ର ହୋଇଥାଏ—ଲଘୁ ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ଅପେକ୍ଷା ଗୁରୁ ପରମାଣୁମାନଙ୍କରେ ଏହା ଶୀଘ୍ର ହୋଇଥାଏ । ଶେଷରେ, କେବଳ ,ପରିବର୍ତ୍ତିତ ରେଖା ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ତୀବ୍ରତାରେ ଦେଖାଦିଏ ।

7·12 ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ବିକିରଣର ପ୍ରକୃତି :

ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ବିକିରଣର ପ୍ରକୃତି ସ୍ଥିର କରିବା ଏକସରେ ଦୁଇ ବିରୁଦ୍ଧାଚରଣ କରୁଥିବା ଗୁଣ ଲାଗି ନିତାନ୍ତ ଦରକାର ହେଲା । ଗୋଟିଏ ସଂସ୍ଥା କିପରି ତରଙ୍ଗ ପରି କାର୍ଯ୍ୟ କରିବ (ଏହା ଏକ୍ସରେର ସ୍ଫଟିକ ଦ୍ୱାରା ବିବର୍ତ୍ତନରୁ ପ୍ରମାଣିତ ହେଉଅଛି) ଓ ଅନ୍ୟପକ୍ଷରେ କମ୍ପଟନ ପ୍ରଭାବ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରମାଣିତ ହେଉଥିବା କଣିକା ଗୁଣ ମଧ୍ୟ ପ୍ରକାଶ କରିବ ?

ଭର ଓ ଅନ୍ୟ ଗାଣିତିକ ଭୌତିକବିତ୍‌ମାନଙ୍କ ମତାନୁଯାୟୀ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଅନୁସାରେ ଏହି ପ୍ରହେଳିକା ସମାଧାନ କରାଯାଇପାରିବ, ଯଦି ସ୍ଥାନ-କାଳର ସାଧାରଣ ଧାରଣାରେ ଥିବା ଲିମିଟକୁ ବିକିରଣ ପାଇଁ ଲାଗୁ କରିବା । ଭର ବାରମ୍ବାର କହିଲେ ଯେ, ଯେତେବେଳେ କୌଣସି ପ୍ରକାରର ପରୀକ୍ଷା କରାଯିବ, ଏହାର ତାତ୍କାଳିକ ଫଳ ସର୍ବଦା ସ୍ଥାନ ଓ କାଳର ସାଧାରଣ ଧାରଣା ଅନୁସାରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରିବ, ଏହି ଧାରଣାସବୁ ମନୁଷ୍ୟର ଅନୁଭୂତିରୁ ଉତ୍ପତ୍ତି ହୋଇଥିବାରୁ ଓ ଯେକୌଣସି ପରୀକ୍ଷା ପ୍ରଥମାବସ୍ଥାରେ ଦର୍ଶକ (ମନୁଷ୍ୟ)ର ଅନୁଭୂତି ଉପରେ ପ୍ରତିଷ୍ଠିତ ହୋଇଥିବାରୁ ଏହା ଘଟିବ । କିନ୍ତୁ ସବୁବେଳେ ଯେ ଆମେ ଦୈନନ୍ଦିନ ବ୍ୟବହାର କରୁଥିବା ବସ୍ତୁକୁ ନେଇ ବାସ୍ତବ ଚିତ୍ରଟିଏ କଳ୍ପନା କରିବା

ସମ୍ଭବ ହେବ, ଯେପରି ନୁହେଁ । ପୁରାତନ ତତ୍ତ୍ୱରେ, ବିଦ୍ୟୁତ ଓ ଚୁମ୍ବକ ଭେକ୍ଟରମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ କେତେକ ଗୁଣ ସ୍ଥାନର ପ୍ରତ୍ୟେକ ବିନ୍ଦୁରେ ଓ ସମୟର ପ୍ରତ୍ୟେକ କ୍ଷଣରେ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ତରଙ୍ଗ ପାଇଁ ରହିଥାଏ । ନୂତନ ଧାରଣା ଅନୁସାରେ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ତରଙ୍ଗର ଏପରି ଧାରଣା ଅତିବେଶୀ ଗୋଟିଏ ମୋଟାମୋଟି ଧାରଣା ବୋଲି ଗ୍ରହଣୀୟ ।

ଆମେ ଯାହାକୁ ବିକିରଣ କ୍ଷେତ୍ର ବୋଲି କହୁଅଛୁ, ତା'ର ପ୍ରଧାନ ଗୁଣ ତା'ର ଗ୍ରାହକ କଣିକାମାନଙ୍କ ଉପରେ କିପରି ପ୍ରଭାବ ଅଛି, ସେଥିରୁ ଜଣାପଡ଼େ । ବିଭିନ୍ନ ପରିସ୍ଥିତିରେ ବିଭିନ୍ନ ଆଚରଣ କରୁଥିବା ଗୁଣ ପ୍ରକାଶ କରିବା କ୍ଷେତ୍ରପାଇଁ ସମ୍ଭବ । କମ୍ପଟନ ପ୍ରଭାବରେ ଆମେ ସେହି ଗୁଣ ସହିତ ପରିଚିତ କ୍ଷେତ୍ର ଏକ ସୀମାରେ ସେପରି ଗୁଣ ପ୍ରକାଶ କରିପାରେ । ଏଠାରେ ଗୋଟିଏ ଫୋଟନ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଉପରକୁ ଧକ୍କାମାରି ଏହାର ସଂବେଗ ବିଚ୍ଛିନ୍ନ ଭାବରେ ଓ ହଠାତ୍ ବଦଳାଇ ଦେଇପାରେ । ସଂବେଗରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ΔP ନିଶ୍ଚିତଭାବରେ ଭୌତିକବିତ୍‌ମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଦେଖି ଓ ମାପ କରିହେବ, କେବଳ ଯଦି କଣିକାଟିର ସଂବେଗରେ ଥିବା ଅନିଶ୍ଚିତତାରୁ ଏହା ବେଶୀ ହୁଏ । କମ୍ପଟନ ପ୍ରକାରର ସ୍ପଷ୍ଟ ବିଚ୍ଛୁରଣ ଘଟିବ, କେବଳ ଯେତେବେଳେ ବିକିରଣର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ କଣିକାଟି ଥିବା ଅଞ୍ଚଳରେ ବ୍ୟାସ ଅପେକ୍ଷା ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ଭାବରେ କମ୍ ହେବ । ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ ପାରମାଣବିକ ବ୍ୟାସ ତୁଳନାରେ ବହୁ ପରିମାଣରେ କମ୍ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ପାଇଁ ଏ ସର୍ତ୍ତ ପୂରଣ ହେବ—ଯଥା : କଠିନ ଏକ୍ସରେ ବା γ–ରଶ୍ମିର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ।

କମ୍ପଟନ ପ୍ରଣାଳୀରେ ତରଙ୍ଗର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ·ତୀବ୍ରତାର ପ୍ରଭାବ ବୋଲି କୌଣସି ମନେ କରିବାର ନାହିଁ । ବିପରୀତ ଦିଗରେ, ପରିଚିତ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଓ ଚୁମ୍ବକ ଭେକ୍ଟର-ମାନଙ୍କ ସାହାଯ୍ୟରେ ପ୍ରକାଶିତ କୌଣସି ବିକିରଣ ପ୍ରକ୍ରିୟା ପାଇବାପାଇଁ ଦୁଇଟି ସର୍ତ୍ତ ପାଇବାକୁ ହେବ । ପରୀକ୍ଷାର ପରିସ୍ଥିତି ଏପରି ହେବ ଯେ, ପଥ ମଧ୍ୟରେ ପରୀକ୍ଷାରେ ଥିବା କଣିକାକୁ ଫଳପ୍ରଦ ଭାବରେ ଅନୁସରଣ କରିବା ସମ୍ଭବ ହେଉଥିବ, ତେଣୁ ତାର ତ୍ୱରଣ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରି ହେବ । ଆଉ ମଧ୍ୟ ପଥର ଯେଉଁ ଅଂଶରେ ତ୍ୱରଣ ମାପ କରାଯିବ, ତ୍ୱରଣ ମାପ ପାଇଁ ତାହା ଯଥେଷ୍ଟ ଲମ୍ବା ହେଲେ ମଧ୍ୟ କ୍ଷେତ୍ର ଭେକ୍ଟରଗୁଡ଼ିକ ସେଥି ମଧ୍ୟରେ ବିଶେଷ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ନହେବା ଲାଗି, ତାହା ଯଥେଷ୍ଟ ଛୋଟ ହୋଇଥିବ ।

ତେଣୁ ବିକିରଣରେ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଓ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରଗୁଡ଼ିକୁ ଦିଆଯାଉଥିବା ପରିଚିତ ପ୍ରକ୍ରିୟାଗୁଡ଼ିକ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହେବ, ଯେତେବେଳେ ସେହି କଣିକା ଉପରେ ଏହା କାର୍ଯ୍ୟ କରିବ, ତାହା ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ତୁଳନାରେ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଭାବରେ ବହୁତ କମ୍ ସ୍ଥାନରେ ରହୁଥିବ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ଏହି ଶେଷ ସର୍ତ୍ତଟି ଦୀର୍ଘ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ତରଙ୍ଗରେ ଧରିଲେ ଗୋଟିଏ ତାର ମଧ୍ୟସ୍ଥ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ପୂରଣ ହୋଇଥାଏ । ଏପରି ତାରରେ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଭେକ୍ଟର ସହିତ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହେଉଥିବା ପ୍ରତ୍ୟାବର୍ତ୍ତୀ ବିଦ୍ୟୁତ ସ୍ରୋତ ପ୍ରବାହିତ ହେଉଥିବାର ଦେଖାଯାଏ । ଏହିପରି ତରଙ୍ଗମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଉପର ବାୟୁମଣ୍ଡଳର ଆୟନଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରଭାବିତ ହେବା ଏହାର ଦ୍ୱିତୀୟ ଉଦାହରଣ ।

ଏପରି ଘଟଣାମାନଙ୍କରେ ତରଙ୍ଗମାନଙ୍କରେ ଥିବା ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ର ସ୍ରୋତ ଉପରେ ବା ଗତିଶୀଳ ଆୟନମାନଙ୍କ ଉପରେ କାର୍ଯ୍ୟ କରିବ । ଏଥିରୁ ଦେଖାଯାଉଛି ଯେ, ଦ୍ୱାରାଦ୍ୱାରା ପ୍ରଭାବ ତରଙ୍ଗର ଗତି ଦିଗରେ ଗୋଟିଏ ବଳ । ଏହି ବଳ ଆଲୋକର ଚାପର ଏକ ଉଦାହରଣ ଏବଂ ଏହା ଅନ୍ୟ ଏକ ପରିସ୍ଥିତିମାନଙ୍କରେ ହେଉଥିବା କମ୍ପନ ଅପସରଣର ଅନୁରୂପ ବୋଲି ମନେ କରାଯାଇପାରେ; କିନ୍ତୁ ଏଠାରେ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ପ୍ରକ୍ରିୟା ହେଉଅଛି, ବିଚ୍ଛିନ୍ନ ପ୍ରକ୍ରିୟା ହେଉନାହିଁ ।

ପ୍ରଶ୍ନାବଳୀ

୧। KBr ଓ KCl ପାଇଁ ଗ୍ରେଟିଂ ବ୍ୟବଧାନ ବାହାର କର, ଏମାନଙ୍କର ସାନ୍ଦ୍ରତା ଯଥାକ୍ରମେ 2750 ଓ 1984 kg/m^3 ।

ଉତ୍ତର : $3{\cdot}30A^\circ$, $3{\cdot}14A^\circ$ ।

୨। କାଲସାଇଟ୍‌ର 20° ବିକ୍ଷେପ କୋଣରେ ପ୍ରଥମ କୋଟୀର ବ୍ରାଗ ପ୍ରତିଫଳନ ପାଇଁ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ବାହାର କର । କେଉଁ କୋଣରେ ଦ୍ୱିତୀୟ-କୋଟୀର ପ୍ରତିଫଳନ ହେବ ? ପ୍ରଥମ କୋଟୀରେ $MoK\alpha$ ବିକିରଣ ପାଇଁ ($0{\cdot}707A^\circ$) ବିକ୍ଷେପ କୋଣ କେତେ ?

ଉତ୍ତର : $2{\cdot}076A^\circ$, $43{\cdot}2^\circ$, $6{\cdot}7^\circ$ ।

୩। ଗୋଟିଏ କପର୍ ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁ ଥିବା ଏକ୍ସ-ରେ ଟିଉବ୍ $25kV$ ବିଭବ-ତାରତମ୍ୟରେ କାର୍ଯ୍ୟ କରୁଅଛି । $CuK\alpha$ ରେଖାପାଇଁ ଗୋଟିଏ $NaCl$ ସ୍ଫଟିକରେ ବିକ୍ଷେପ କୋଣ $15{\cdot}8^\circ$ ବୋଲି ଦେଖାଗଲା । ଏହି ରେଖାର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ଓ କ୍ଷୁଦ୍ର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ଲିମିଟରେ ଫୋଟନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ବିକ୍ଷେପ କୋଣ ସ୍ଥିର କର ।

ଉତ୍ତର : $1{\cdot}54A^\circ$; $5{\cdot}1^\circ$ ।

୪। ଗୋଟିଏ ଟଙ୍ଗଷ୍ଟାନ ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁ ଥିବା ଏକ୍ସରେ ଟିଉବ୍ ଡି. ସି. ପାୱାରରେ 60kVରେ $15mA$ ଦେବାବେଳେ କାମ କରୁଥିଲା । ଏଥିରୁ ଉତ୍ପନ୍ନ ଏକ୍ସରେ ପାଇଁ କ୍ଷୁଦ୍ର-ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ଲିମିଟ୍ କେତେ ? ଏକ୍ସରେରେ ବହନତ ମୋଟାମୋଟି ପାୱାର ହିସାବ କର ।

ଉତ୍ତର : $0{\cdot}207A^\circ$, ପ୍ରାୟ 6W,

୫ । (କ) 10kVରେ କାର୍ଯ୍ୟ କରୁଥିବା ଗୋଟିଏ ଟେଲିଭିଜନ ଟିଉବ୍‌ରୁ, (ଖ) 100kVରେ କାର୍ଯ୍ୟ କରୁଥିବା ଗୋଟିଏ ଏକ୍‌ସରେ ଟିଉବ; (ଗ) ଗୋଟିଏ 20MeV ବିଟାଟ୍ରନ ଓ (ଘ) ଗୋଟିଏ 1GeV ସରଳରୈଖିକ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ତ୍ୱରକରୁ ଏକ୍‌ସରେ ପାଇଁ କ୍ଷୁଦ୍ର-ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ଲିମିଟ୍ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

ଉତ୍ତର : 1·24A°, 0·124A°; 0·62XU; 0·0124 × XU

୬ । (କ) 30kVରେ କାର୍ଯ୍ୟ କରୁଥିବା ଗୋଟିଏ ଏକ୍‌ସରେ ଟିଉବରୁ । (ଖ) 50kV ସରଳରୈଖିକ ତ୍ୱରକରୁ ଓ (ଗ) 300MeV ସିଙ୍କ୍ରୋଟ୍ରନରୁ ହେଉଥିବା ବିକିରଣ ପାଇଁ କ୍ଷୁଦ୍ର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ଲିମିଟ୍ ବାହାର କର ।

୭ । ଗୋଟିଏ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥର ଆବିଷ୍କାର ପାଇଁ ପ୍ରଧାନ ପ୍ରମାଣମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ହେଲା, ସେହି ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ ପାଇଁ ଆଶା କରାଯାଉଥିବା ସ୍ୱଧର୍ମୀ ଏକ୍‌ସରେ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ପାଇବା । Kα ରେଖାପାଇଁ ଗୋଟିଏ ମୋସଲେ ଗ୍ରାଫ୍ ଅଙ୍କନ କର ଏବଂ 85, 87 ଓ 94 ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଏହି ରେଖାର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

ଉତ୍ତର : 0·150, 0·147, 0·135A°.

୮ । ସମସ୍ତ ବିକ୍ଷୁରଣ ଅସଙ୍ଗତ ଥମସନ୍ ପ୍ରକାରର ବୋଲି ଅନୁମାନ କରି କପରର ପାରମାଣବିକ, ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଓ ସରଳରୈଖିକ ବିକ୍ଷୁରଣାଙ୍କ ବାହାର କର । ଚିତ୍ର ୭·୧୪ରୁ ବିସ୍ତୃତ କରି କେଉଁ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟରେ ଏହି ମୂଲ୍ୟଗୁଡ଼ିକ ମୋଟାମୋଟି ଠିକ୍ ହେବ ବୋଲି ତମେ ଆଶା କରୁଛ ? $\lambda = 0{\cdot}707 A^\circ$ (MoKα)ରେ Cu ପାଇଁ σ_a କେତେ ହେବ ବୋଲି ଅନୁମାନ କରୁଛ ?

୯ । ପାର୍ଶ୍ୱିତ ନହୋଇଥିବା ଏକ୍‌ସରେ ଗୋଟିଏ ଗ୍ରାଫାଇଟ୍ ବ୍ଲକରେ ଥମସନ୍ ବିକ୍ଷୁରଣ ଲାଭ କଲା । xz ସମତଳରେ $\theta = 30^\circ$ରେ ବିକ୍ଷୁରିତ ହେବା ବିକିରଣର ପାର୍ଶ୍ୱୀକରଣ ସ୍ଥିର କର । (ପାର୍ଶ୍ୱୀକରଣ ହେଲା)

$$P = \frac{I_1 - I_{11}}{I_1 + I_{11}}$$

ଏଠାରେ I_1 ଓ I_{11} ଯଥାକ୍ରମେ xz ସମତଳକୁ ଅଭିଲମ୍ବ ଓ ସାମାନ୍ତର ଭାବରେ ଥିବା ବଦ୍ୟୁତ ଭେକ୍ଟରର ତୀବ୍ରତା) ।

୧୦ । ତାଙ୍ଗନଦ୍ୱାରା $\lambda = 0{\cdot}085 A^\circ$ର ଏକ୍ସରେ ବିଚ୍ଛୁରିତ ହେଲା । କେଉଁ କୋଣରେ କମ୍ପଟନ୍ ବିଚ୍ଛୁରଣ ଫୋଟନର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ $0{\cdot}090 A^\circ$ ହେବ ?

ଉତ୍ତର : 37·50° ।

୧୧ । ଗୋଟିଏ ଫୋଟନ 90° କୋଣରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଦ୍ୱାରା କମ୍ପଟନ ବିଚ୍ଛୁରିତ ହେଲା । ଆପତନ ଫୋଟନ ଶକ୍ତି 10 KeV, 0·511 MeV ଓ 10 MeV ପାଇଁ ବିଚ୍ଛୁରିତ ଫୋଟନର ଶକ୍ତି ବାହାର କର ।

ଉତ୍ତର : 0 0098, 0·256 ଓ 0·486 MeV.

୧୨ । ଗୋଟିଏ କମ୍ପଟନ ବିଚ୍ଛୁରିତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ ସମୀକରଣ (୭·୧୭) ଦ୍ୱାରା ϕରେ ବା ସମୀକରଣ (୭·୧୭କ) ଦ୍ୱାରା θରେ ଗତଜ ଶକ୍ତି ପ୍ରକାଶିତ ହୁଏ ବୋଲି ଦେଖାଅ ।

୧୩ । ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପ୍ରଥମରୁ ସ୍ଥିର ଥିଲେ ଗୋଟିଏ ଫୋଟନ ସର୍ବନିମ୍ନ କେତେ ଶକ୍ତି ଲାଭ କରିଥିଲେ ସେଥିରୁ ଅର୍ଦ୍ଧେକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟିକୁ ଦେବାକୁ ସମର୍ଥ ହେବ, ତାହା ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

ଉତ୍ତର : 256 KeV.

୧୪ । ଗୋଟିଏ କମ୍ପଟନ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନରେ ଅପସରଣ କୋଣ

$$\cos \phi = \frac{(h\nu)^2 - (h\nu_0)^2 + P^2c^2}{2h\nu Pc}$$

ବୋଲି ଦେଖାଅ । ଏଠାରେ P ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ସଂବେଗ ।

୧୫ । $h\nu$ ଶକ୍ତିର ନିଭରଣ୍ଣି ଫୋଟନ ପ୍ରଥମରୁ ସ୍ଥିର ଥିବା ଗୋଟିଏ ଫୋଟନ ଦ୍ୱାରା 90°ରେ ବିଚ୍ଛୁରିତ ହେଲା । ବିଚ୍ଛୁରିତ ଫୋଟନର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ଆପତନ ଫୋଟନର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟର ଦୁଇଗୁଣ । ଆପତନ ଫୋଟନର ସ୍ପନ୍ଦନ ଓ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଅପସରଣ କୋଣ ବାହାର କର ।

ଉତ୍ତର : $1{\cdot}2 \times 10^{20}$ Hz; 26·6°

୧୬ । ସମୀକରଣ (୭·୧୮)କୁ ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ କର ।

୧୭ । ଗୋଟିଏ ଅତି ଶକ୍ତିଶାଳୀ $h\nu$ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଫୋଟନ ଗୋଟିଏ ସ୍ଥିର ଥିବା ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସହିତ ମୁହାଁମୁହିଁ ଆଘାତ ପାଇଲା ।

(କ) ଏହି ସଂଘର୍ଷରେ ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମ ପ୍ରୟୋଗ କରି ଦେଖାଅ ଯେ, $2h\nu = K + \sqrt{K^2 + 2m_0c^2k}$, ଏଠାରେ K ଅପସରିତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଗତିଜ ଶକ୍ତି ।

(ଖ) ଯଦି $h\nu = 10$MeV ହୁଏ, K ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

ଉତ୍ତର : 9·75 MeV ।

୧୮ । ଯେଉଁ ଫୋଟନ କମ୍ପଟନ ବିଚ୍ଛୁରଣ ଲାଭ କରିଅଛି, ତାହାର ଶକ୍ତି

$$h\nu_0 = \frac{h\nu}{1 + \in(1 - \cos\theta)}$$ ବୋଲି ଦେଖାଅ ।

ଏଠାରେ $\in = \dfrac{h\nu}{m_0c^2}$ ।

୧୯ । ଗୋଟିଏ 0·511 MeV ଫୋଟନ ମୁହାଁମୁହିଁ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନକୁ ଆଘାତ କଲା ଏବଂ ସିଧା ପଛକୁ ବିଚ୍ଛୁରିତ ହେଲା । ବିଚ୍ଛୁରିତ ଫୋଟନର ଶକ୍ତି, ଅପସରିତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଶକ୍ତି ଓ ପରିବେଗର v/c ଅନୁପାତ ବାହାର କର ।

୨୦ । ଯଦି ଗୋଟିଏ କମ୍ପଟନ ବିଚ୍ଛୁରଣରେ ଅପସରିତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ϕ କୋଣରେ ଗତି କରେ, ଦେଖାଅ ଯେ ଫୋଟନଟି θ କୋଣରେ ଅପସରିତ ହେବ, ଯେପରି କି

$$\cos\theta = 1 - \frac{2}{(1+\in)^2 \tan^2\phi + 1}$$

୨୧ । ମୁକ୍ତ ସ୍ଥାନରେ ଗତି କରୁଥିବା ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଆପେ ଆପେ ଗୋଟିଏ ଫୋଟନକୁ ବିକିରଣ ବା ଶୋଷଣ କରି ପାରିବ ନାହିଁ ।

୧୨ । ଯେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ ଅଧିକ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ଫୋଟନ 30° କୋଣରେ କମ୍ପଟନ ବିଚ୍ଛୁରଣ କରେ, ଅପସରିତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି $\phi = 30°$ରେ ଗତି କରେ । ଆପତନ ଫୋଟନର ଶକ୍ତି ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

ଉତ୍ତର : 2·78MeV.

୧୩ । (କ) ଗୋଟିଏ ସମତଳରେ ପାର୍ଶ୍ୱଭୂତ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ବିକିରଣର ହାରାହାରି ତୀବ୍ରତା $\frac{1}{2}C\epsilon_0 \vec{E}_0^2$, ଏଠାରେ $\vec{E}_0$ ବିଦ୍ୟୁତ ଭେକ୍ଟରର ବିସ୍ତାର । ଗୋଟିଏ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ 0·7A° ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ଏକ୍ସରେ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରଭାବିତ ହେବାବେଳେ ତା'ର ପୁନରାବର୍ତ୍ତନ ଦୋଳନର ବିସ୍ତାର ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର । ଏକ୍ସରେର ତୀବ୍ରତା $20W/m^2$ ।

(ଖ) ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଦ୍ୱାରା ବିଚ୍ଛୁରିତ ଏକ୍ସରେ ସବୁରେ କେତେ ଧାର୍ଯ୍ୟାର ସ୍ୱାଭାବିକ ହୁଏ ?

(ଗ) ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟିକୁ 0·05A° ବିସ୍ତାର ଦେବାପାଇଁ କେତେ ତୀବ୍ରତା ଦରକାର, ବାହାର କର ।

୧୪ । ଆପତନ γ-ରଶ୍ମିର ଶକ୍ତି ନିରୂପଣ କରିବାପାଇଁ ଗୋଟିଏ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରୋମିଟର ନିମ୍ନ ପ୍ରଣାଳୀରେ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ କରାଗଲା । ସାରଣୀକୃତ γ ରଶ୍ମି ଗୋଟିଏ ପାତଳ ଲକ୍ଷ୍ୟ ବସ୍ତୁକୁ ଆଘାତ କଲା ଏବଂ ମୂଳ γ ରଶ୍ମି ଦିଗରେ ଗତି କରୁଥିବା କମ୍ପଟନ ଅପସରିତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନସବୁ ଚୁମ୍ବକ ପ୍ରଣାଳୀରେ ବିଶ୍ଳେଷଣ କରାଗଲା । (ଯେତେବେଳେ କମ୍ପଟନ ବିଚ୍ଛୁରଣ କୋଣ 180° ବୋଲି ଲକ୍ଷ୍ୟ କର) । ଯଦି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗତିପଥର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ r ହୁଏ ଓ B ଚୁମ୍ବକୀୟ ପ୍ରେରଣ ହୁଏ, γ-ରଶ୍ମିର ଶକ୍ତି ପାଇଁ ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ଠିକ୍ ହେଉଥିବା ଗୋଟିଏ ସମ୍ପର୍କ r, B ଓ ମୌଳିକ ଧ୍ରୁବମାନଙ୍କ ସାହାଯ୍ୟରେ ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ କର ।

୧୫ । ଗୋଟିଏ ବ୍ୟୁତ୍କ୍ରମ କମ୍ପଟନ ପ୍ରଭାବରେ ଏକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଏକ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଦ୍ୱାରା ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ସଂଘର୍ଷରେ ଶକ୍ତି ଲାଭ କଲା । ଯଦି ଲ୍ୟାବୋରେଟରୀ ଫ୍ରେମ୍‌ରେ ଗୋଟିଏ 10eV ଫୋଟନ ଗୋଟିଏ 500 MeV ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସହ

ସିଧାସଳଖ ଆଘାତ ପାଏ, ଲବରେଟରୀ ସଂସ୍ଥାରେ କମ୍ପଟନ ବିଚ୍ଛୁରଣ ଫୋଟନର ଶକ୍ତି ବାହାର କର ।

୧୭ । ଏକ ଅତି ବିଶିଷ୍ଟ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ଫୋଟନ ସୃଷ୍ଟି ଉତ୍ପନ୍ନ କରିବାର ଗୋଟିଏ ଉପାୟ ହେଲା, (ଏହା ପ୍ରାୟ 100% ପୋଲାରିଭୂତ ହୋଇଥାଏ) ବ୍ୟୁତ୍କ୍ରମ କମ୍ପଟନ ପ୍ରଭାବ (ପ୍ରଶ୍ନ ୧୫ ଦେଖ) ଯେଉଁ 6942A°ର ଫୋଟନ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ଶକ୍ତିଶାଳୀ (ରୁବି) ଲେଜର ରଶ୍ମି ଗୁଚ୍ଛ, 20 *GeV* ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ରଶ୍ମି ଗୁଚ୍ଛ ସହିତ ମୁହାଁମୁହିଁ ଆଘାତ ପାଏ, (କ) ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସହିତ ଗତି କରୁଥିବା ଗୋଟିଏ ଫ୍ରେମରେ ଆପତନ ଫୋଟନଗୁଡ଼ିକର ଶକ୍ତି ଓ (ଗ) ଲବରେଟରୀ ଫ୍ରେମ୍‌ରେ ପଛକୁ ବିଚ୍ଛୁରିତ ଫୋଟନମାନଙ୍କର ଶକ୍ତି ବାହାର କର । କଭରଶ୍ମିରେ ଦେଖ ଯାଉଥିବା କେତେକ ଅତି ଶକ୍ତିଶାଳୀ ବ୍ୟୁତ୍କ୍ରମ କମ୍ପଟନ ପ୍ରଣାଳୀରେ ଶକ୍ତି ଲାଭ କରି ପାରନ୍ତି ।

ଅଷ୍ଟମ ଅଧ୍ୟାୟ

ତେଜସ୍କ୍ରିୟତା ଓ ନିଉକ୍ଲିଆର ପରମାଣୁ

1896 ମସିହାରେ ହେନେରୀ ବେକରେଲ୍‌ଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ତେଜସ୍କ୍ରିୟତା ଆବିଷ୍କୃତ ହୋଇଥିଲା । ଏହା ନିଉକ୍ଲିଆର ଭୌତିକ ବିଜ୍ଞାନର ଅଭ୍ୟୁଦୟ ସମ୍ଭବ କରିଥିଲା । ତାଙ୍କର କାର୍ଯ୍ୟ ଏବଂ କ୍ୟୁରୀଦମ୍ପତି, ରୁଥରଫୋର୍ଡ଼ ଓ ତାଙ୍କର ସହକର୍ମୀ ଏବଂ ଅନ୍ୟମାନଙ୍କର ଅନୁସନ୍ଧାନ ଫଳରେ ଏହା ସ୍ପଷ୍ଟ ହୋଇଥିଲା ଯେ ଏହି ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକରେ ଯେଉଁ ପରିମାଣରେ ବଳ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହେଉଛି, ସେ ସମୟର ରସାୟନ ଓ ଭୌତିକ ବିଜ୍ଞାନବିତ୍‌ମାନେ ସେ ପ୍ରକାର ବଳ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ପରିଚିତ ନଥିଲେ । ମିଶରର ଲୋକମାନଙ୍କ ସମୟରୁ ବୃଥାରେ ମନୁଷ୍ୟ ଯେଉଁ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥର ରୂପାନ୍ତର ପାଇଁ ଚେଷ୍ଟା କରି ଆସିଥିଲା, ପ୍ରକୃତରେ ସେହି ପ୍ରକ୍ରିୟା ଏଠାରେ ସମ୍ଭବ ହେଉଥିଲା । ଏହି ପର୍ଯ୍ୟାଲୋଚନା ଫଳରେ କେତେଗୁଡ଼ିଏ ବସ୍ତୁର ସନ୍ଧାନ ମିଳିଲା ଯେଉଁଗୁଡ଼ିକ କି ଆମେ ଆଗେ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁରେ ପରିଣତ ହୋଇଯାଉଥିଲେ । ବସ୍ତୁଗୁଡ଼ିକ ଧାରାବାହିକ ଭାବରେ ଏହିପରି ରୂପାନ୍ତରିତ ହେବାର ଜଣାଯିବାରୁ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ସମ୍ବନ୍ଧ ଭେଦ କରିବାର ପ୍ରଥମ ସୂତ୍ର ମିଳିଥିଲା । ଏହି ବସ୍ତୁଗୁଡ଼ିକ ବିକିରଣ କରୁଥିବା ଅତ୍ୟନ୍ତ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ରଶ୍ମିଗୁଡ଼ିକର ବ୍ୟବହାର ଦ୍ୱାରା [ନିଉକ୍ଲିୟସ୍‌ର ଆବିଷ୍କାର, ପରମାଣୁର ନିଉକ୍ଲିୟର ମଡ଼େଲ ଏବଂ ଶେଷରେ କୃତ୍ରିମ ସଞ୍ଚରଣ ଦ୍ୱାରା ସ୍ଥାୟୀ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କରେ ରୂପାନ୍ତରଣ ସମ୍ଭବ ହୋଇଥିଲା । ଏହି ପ୍ରଥମାବସ୍ଥା ପରୀକ୍ଷା ପରେ ନିଉକ୍ଲିୟର ଭୌତିକ-ବିଜ୍ଞାନ ବହୁ ପରିମାଣରେ ଆଗେଇ ଯାଇଛି । ଏହି କ୍ଷେତ୍ରରେ ଘଟିଥିବା ଚମତ୍କାର ଉନ୍ନତି ପ୍ରକୃତରେ 'ସ୍ପେଣ୍ଟୋହନ' ଘଟାଇଛି ବୋଲି କହିପାରିବା ।

8·1 ପ୍ରାରମ୍ଭିକ ଘଟଣାବଳୀ :

ବେକରେଲଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ତେଜସ୍କ୍ରିୟତାର ଆବିଷ୍କାର ଆକସ୍ମିକ ଭାବରେ ହୋଇଥିଲେ ମଧ୍ୟ ଏକ୍‌ସରେର ଆବିଷ୍କାରରୁ ଏହା ସିଧାସଳଖ ଭାବରେ ମିଳିଥିଲା । ଏକ୍‌ସରେର ଉତ୍ପାଦନ ଓ କାଚନଳୀର ପ୍ରତିଦୀପ୍ତି ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ପ୍ରଗାଢ଼ ସମ୍ବନ୍ଧରୁ ମନେ ହେଲା ଯେ ଯେଉଁ ଜିନିଷଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରାକୃତିକ ଭାବରେ ପ୍ରତିଦୀପ୍ତ ବା ସ୍ଫୁରଦୀପ୍ତ, ସେଗୁଡ଼ିକ ଦୃଶ୍ୟ ଆଲୋକକୁ ଅନାବୃତ ହେବାପରେ ସେହିପରି ଭେଦନ-ବିକିରଣ ଉତ୍ପନ୍ନ କରିବ । ଏହି ସମ୍ଭାବନାର ଅନୁସନ୍ଧାନ କରିବାପାଇଁ ତଥ୍ୟର ଏକ ଯୋଜନାରେ ବେକରେଲ 1896 ମସିହା ଫେବୃୟାରୀ ମାସରେ ପଟାସିୟମ ଓ ୟୁରାନିୟମର ଦ୍ୱିସଲ୍‌ଫେଟ୍‌ର ଗୋଟିଏ ସାମ୍ପଲ ତିଆରି କଲେ । ଏହି ସଲଫେଟ୍ ଗୋଟିଏ ଅତି ଜଣାଶୁଣା ସ୍ଫୁରଦୀପ୍ତ ବସ୍ତୁ । ସେ ଗୋଟିଏ ଫଟୋଗ୍ରାଫ୍ ପ୍ଲେଟ୍‌କୁ କଳା କାଗଜରେ ଗୁଡ଼ାଇ ତାଉପରେ ଏହି ସାମ୍ପଲଟିକୁ ରଖିଦେଲେ । ସୂର୍ଯ୍ୟକିରଣକୁ ଏହା ଅନାବୃତ କରିବା ତାଙ୍କର ଉଦ୍ଦେଶ୍ୟ ଥିଲା । ସେ ବୃଥାରେ କେତେଦିନ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ସୂର୍ଯ୍ୟ କିରଣକୁ ଅପେକ୍ଷା କଲେ । ସେତେବେଳେ କେତେକ ବିସ୍ତାରିତ ଆଲୋକ ସେଥିରେ ପଡ଼ୁଥାଏ, ତେଣୁ ଫଟୋଗ୍ରାଫ୍ ପ୍ଲେଟ୍‌ଟି ଖରାପ ହୋଇ ଯାଇଥିବ ବୋଲି ସନ୍ଦେହ କରି, ସେ ତାକୁ ଧୋଇବାକୁ ଠିକ୍ କଲେ । ପ୍ଲେଟ ଉପରେ ସ୍ଫଟିକ ଗୁଡ଼ିକର ସ୍ପଷ୍ଟ ଛବି ଦେଖି ସେ ଆଶ୍ଚର୍ଯ୍ୟ ହୋଇଗଲେ । ପରେ ପରୀକ୍ଷାଗୁଡ଼ିକରୁ ଜଣାଗଲା ଯେ ପ୍ଲେଟରେ କଳାଦାଗ ଆସିବା, ଆଲୋକକୁ ଅନାବୃତ ହେବା ଉପରେ ବା ପୂର୍ବରୁ ସେ ବସ୍ତୁଟି କିପରି ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇଥିଲା, ତା ଉପରେ, ଆଦୌ ନିର୍ଭର କରେନାହିଁ । ଏପରିକି ଯେଉଁ ଯୌଗିକ ବସ୍ତୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ୟୁରାନିୟମ ଅଛି, ସେଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରତିଦୀପ୍ତ ନହେଲେ ମଧ୍ୟ ଏହି ପ୍ରଭାବ ଦେଖାଯାଉଅଛି । ଯୌଗିକ ବସ୍ତୁରେ ଯେଉଁ ପରିମାଣରେ ୟୁରାନିୟମ ରହିଅଛି, ତା'ର ପ୍ରଭାବ, ସେହି ପରିମାଣ ପ୍ରତି ଅନୁପାତୀ ଏବଂ ତାପମାତ୍ରାରେ ବିଶେଷ ପ୍ରଭେଦ ହେଲେ ମଧ୍ୟ ଏହି ପ୍ରଭାବରେ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହେଉନାହିଁ । ଏହି ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣରୁ ସିଦ୍ଧାନ୍ତ ହେଲା ଯେ ତେଜସ୍କ୍ରିୟତା (ପରେ ମେରିକ୍ୟୁରୀ ତାକୁ ଏହି ନାମ ଦେଇଥିଲେ) କୌଣସି ଆଣବିକ ଘଟଣା ନୁହେଁ, ଏହା ପରମାଣୁ ସହିତ କୌଣସିମତେ ସଂପୃକ୍ତ, ଏପ୍ରକାର ସମ୍ପର୍କ ରାସାୟନିକ ପ୍ରକ୍ରିୟାମାନଙ୍କରେ କେବେ ହେଲେ ଦେଖାଯାଇ ନଥିଲା ।

ଏହି ଫଳାଫଳଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରସ୍ତୁତ ହେବାପରେ ଏପ୍ରକାର ଗୁଣ ଥିବା ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ବସ୍ତୁ ପାଇଁ ଖୋଜା ଚାଲିଲା । 1898ରେ ମେରି ଓ ପିଅର କ୍ୟୁରୀ, ପୋଲୋନିୟମ ଓ ରେଡ଼ିୟମ

ଆବିଷ୍କାର କରିଥିଲେ । ଏହି ବସ୍ତୁଗୁଡ଼ିକ ୟୁରାନିୟମ ଧାତୁମାନଙ୍କରେ ମିଳିଥାଏ ଏବଂ ଏମାନେ ୟୁରାନିୟମ ଅପେକ୍ଷା ବହୁ ଗୁଣରେ ଅଧିକ ଶକ୍ତିଶାଳୀ । ରେଡ଼ିୟମ ଏପରି ଶକ୍ତିଶାଳୀ ଯେ ଏହାର ଯୌଗିକ ବସ୍ତୁ ସବୁ ପରିପାର୍ଶ୍ୱର ଉତ୍ତାପ ଅପେକ୍ଷା କେତେକ ଡିଗ୍ରୀ ଅଧିକ ଉତ୍ତାପରେ ରହିପାରେ । ସ୍ମିତ ଥୋରିୟମର ତେଜସ୍କ୍ରିୟତା ଆବିଷ୍କାର କରିଥିଲେ; ମେରିକ୍ୟୁରୀ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଭାବରେ 1898ରେ ଏହା ଆବିଷ୍କାର କରିଥିଲେ । 1900 ମସିହାରେ ଥୋରିୟମରୁ ବାହାରୁଥିବା ଥୋରନ୍ ଗ୍ୟାସ ଏବଂ ରେଡ଼ିୟମରୁ ବାହାରୁଥିବା ରାଡ଼ନ୍ ଗ୍ୟାସ ଯଥାକ୍ରମେ ରୁଥର ଫୋର୍ଡ଼ ଓ ଡର୍ଣ୍ଣଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଆବିଷ୍କୃତ ହୋଇଥିଲା ।

ଅତିଶୀଘ୍ର ଜଣାଗଲା ଯେ ଏହି ବସ୍ତୁମାନଙ୍କରୁ ବିକିରିତ ହେଉଥିବା ରଶ୍ମିସବୁ ପ୍ରଧାନତଃ ଦୁଇପ୍ରକାରର—ଗୋଟିଏ ହେଲା 'କୋମଳ' ବିକିରଣ; ଏହା ପାତଳ କାଗଜ ବା କେତେକ ସେଣ୍ଟିମିଟର ବାୟୁ ଭେଦ କରିପାରେ ଏବଂ ଅନ୍ୟଟି ବାୟୁରେ କେତେକ ଦଶକ ବା ଶତକ ସେଣ୍ଟିମିଟର ମଧ୍ୟ ଭେଦ କରିଯାଇପାରେ, ଅଥଚ ମଧ୍ୟ ପାତଳ ଧାତବପାତ ଭେଦ କରିପାରେ । ଏହି ଦୁଇ ବିକିରଣ ଯଥାକ୍ରମେ α-ରଶ୍ମି ଓ β-ରଶ୍ମି ନାମରେ ନାମିତ ହେଲେ । ତଥାପି ଗୋଟିଏ ତୃତୀୟ ପ୍ରକାରର ବିକିରଣ 1900 ମସିହାରେ ଭିଲାର୍ଡ଼ଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଆବିଷ୍କୃତ ହେଲା । ଏହାର ଭେଦଶକ୍ତି ଅନ୍ୟମାନଙ୍କଠାରୁ ଅଧିକ । ଏହାକୁ γ-ବିକିରଣ ନାମ ଦିଆଯାଇଅଛି । α ଓ β ରଶ୍ମି ବାୟୁକୁ ସୁପରିବାହୀ ବସ୍ତୁରେ ପରିଣତ କରି ପାରନ୍ତି ବୋଲି ବେକରେଲ ଦେଖାଇଲେ । ଏକ୍ସରେ ସ୍ୱର୍ଣ୍ଣପତ୍ର ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋସ୍କୋପ୍‌କୁ ଚାର୍ଜଶୂନ୍ୟ କରିପାରେ ବୋଲି ରଣ୍ଟ୍‌ଜେନ ଦେଖାଇଥିଲେ, ଏହି ରଶ୍ମି ସେହିପରି କରିପାରେ ବୋଲି ବେକରେଲ ଦେଖାଇଲେ ।

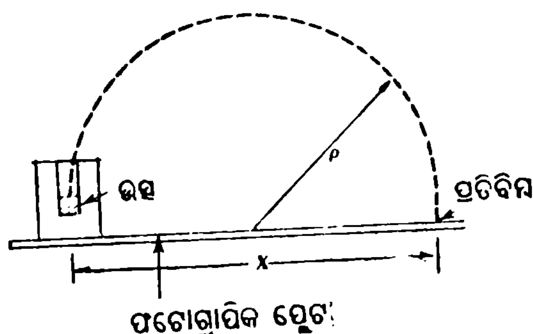
8.2 ଆଲ୍‌ଫା, ବିଟା ଓ ଗାମା ରଶ୍ମି :

୧୮୯୯ ମସିହାରେ ଗିଜେଲ ଓ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଭାବରେ ବେକରେଲ ଦେଖାଇଲେ ଯେ β ରଶ୍ମିର ପଥ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରଦ୍ୱାରା ସହଜରେ ବଙ୍କାଇ ଦିଆଯାଇପାରେ । ବେକରେଲ ଯେପରି ଭାବରେ ଏହା କରିଥିଲେ, ତାହା ଚିତ୍ର ୮.୧ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ସେ ଗୋଟିଏ ଫଟୋଗ୍ରାଫ୍ ପ୍ଲେଟ୍‌ର ଉପର ଭାଗକୁ ସମାନ୍ତର କରି ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ର ନେଲେ ଓ ଗୋଟିଏ ପ୍ଲେଟ ପାତ୍ରରେ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ବସ୍ତୁ ନେଇ ଡାକୁଣି ବୋଲି ରଖିଲେ ।

ପାତ୍ରରୁ β-କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ବାହାରି ଚିତ୍ର ଥିବା ସମତଳରେ ଅର୍ଦ୍ଧବୃତ୍ତ ଆକାରରେ ବଙ୍କାଇ ଯାଇ ସେମାନଙ୍କର ସଂବେଗ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରି ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ସ୍ଥାନରେ ପ୍ଲେଟ ଉପରେ ଦାଗ ପକାଇଲେ । ଗୋଟିଏ ଦତ୍ତ ଗତିବେଗ v ଓ ଚାର୍ଜ e ସଂଯୁକ୍ତ କଣିକା ସବୁ ଚୁମ୍ବକୀୟ ବିକ୍ଷେପଣ ଦ୍ୱାରା x ଦୂରରେ ମିଳିଲେ

$$x = 2\rho = 2\frac{mv}{eB}$$

ହେବ । ଏଠାରେ B ହେଲା ଚୁମ୍ବକୀୟ ସଞ୍ଚରଣ । $B\rho$ ରାଶିକୁ ଚୁମ୍ବକୀୟ କଠିନତା କୁହାଯାଏ, ଏହା ସଂବେଗ ହୃତ ଚାର୍ଜ ରାଶିଟିର ମାପକ । ବେକରେଲ ଗୋଟିଏ ସବୁଆ ଉତ୍ସ ପାଇଁ ମଧ୍ୟ $B\rho$ରେ ପ୍ରଭୂତ ପ୍ରଭେଦ ଦେଖିପାରିଲେ । ଏଥିରୁ ସୂଚନା ମିଳିଲା ଯେ β-ରଶ୍ମି ସମାଙ୍ଗୀ ନୁହେଁ । ଶୋଷଣକାରୀ ପାତ୍ର ସବୁ ପ୍ଲେଟ ଉପରେ ରଖିବାଦ୍ୱାରା ସେ



[ଚିତ୍ର ୮·୧ ବେକରେଲଙ୍କ ବ୍ୟବସ୍ଥା ଅନୁସାରେ ଗୋଟିଏ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ଉତ୍ସରୁ ବାହାରି β ରଶ୍ମି ସବୁ ଗୋଟିଏ ଅର୍ଦ୍ଧବୃତ୍ତାକାର ପଥରେ କାଗଜର ଉପରିଭାଗକୁ ଲମ୍ବ ଭାବରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ର ଦ୍ୱାରା ବଙ୍କାଇ ହୋଇ ଯାଇଛନ୍ତି]

ଦେଖିଲେ ଯେ ସହଜରେ ବଙ୍କାଇ ହେଉଥିବା β କଣିକା ସବୁ ସହଜରେ ଶୋଷିତ ହୋଇ ପାରୁଛନ୍ତି । ସ୍ଥିର ବିଦ୍ୟୁତ ଦ୍ୱାରା β କଣିକା ସବୁ ମଧ୍ୟ ପଥଚ୍ୟୁତ କରାଯାଇପାରିବେ ବୋଲି ସେ ଅତି ଶୀଘ୍ର ଦେଖାଇ ପାରିଥିଲେ ଏବଂ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଓ ଚୁମ୍ବକୀୟ ବିକ୍ଷେପଣ ମାପ କରି

ଏହି କଣିକାମାନଙ୍କର ବିଶିଷ୍ଟ ଚାର୍ଜ e/m ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରିବାର ଚେଷ୍ଟା କଲେ । କଣିକା-ମାନଙ୍କର ଏକ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ଗୋଟିଏ ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ର E ପ୍ରତି ଲମ୍ବ ଭାବରେ ଯାଇ ଉକ୍ତ କ୍ଷେତ୍ରରେ l ଦୈର୍ଘ୍ୟ ଗତି କରିବାରେ ଗତି ପ୍ରତି ଲମ୍ବ ଭାବରେ y ପରିମାଣରେ ବିସ୍ଥାପିତ ହେବ । ସମୀକରଣ (୭.୬) ଅନୁସାରେ

$$y=\frac{1}{2}\frac{Ee}{m}\left(\frac{l}{v}\right)^2$$

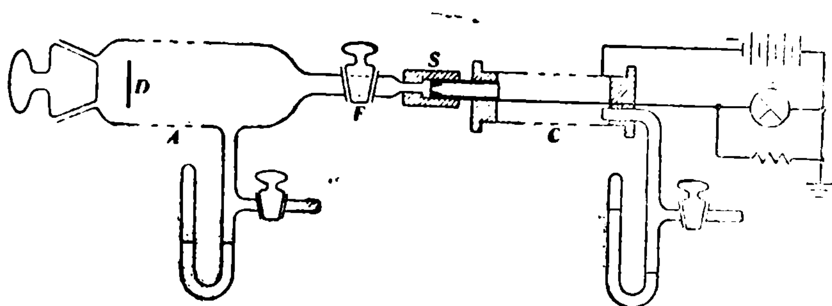
ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ପାଇଁ $B\rho$ର ମୂଲ୍ୟ ବସାଇ ବେକରେଲ v ପାଇଲେ ଏବଂ ସେଥିରୁ e/m ପାଇଲେ । ସେ ଗତିବେଗର ମୂଲ୍ୟ ଆଲୋକର ଗତିବେଗର ଅଧାରୁ ଅଧିକ ଏବଂ e/mର ମୂଲ୍ୟ ପ୍ରାୟ $10^{11} C/kg.$ ବୋଲି ପାଇଲେ (ଋଣ ଚାର୍ଜ ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇଥିଲା) । ଏହି ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣରୁ ଜଣାଗଲା ଯେ ଥମ୍ସନ୍ କାଥୋଡ଼ ରଶ୍ମିରେ ପାଇଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ βରଶ୍ମିରେ ରହିଅଛି (କେବଳ 3ବର୍ଷ ପୂର୍ବରୁ ଥମ୍ସନ୍ ପାଇଥିଲେ) ଏବଂ କାଥୋଡ଼ ରଶ୍ମିରେ ସେମାନଙ୍କର ଗତିବେଗ ଅପେକ୍ଷା β-ରଶ୍ମିରେ ସେମାନଙ୍କର ଗତିବେଗ ବହୁତ ବେଶୀ ବୋଲି ମଧ୍ୟ ଜଣାପଡ଼ିଲା । 1902 ମସିହାରେ ବିଦ୍ୟୁତ କ୍ଷେତ୍ର ଓ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ଏକସଙ୍ଗେ ବ୍ୟବହାର କରି ଗତିପଥର ବକ୍ରତାରୁ କାଉଫମ୍ୟାନ β ରଶ୍ମି କଣିକାମାନଙ୍କର e/mର ମୂଲ୍ୟ ସୂକ୍ଷ୍ମ ଭାବରେ ନିରୂପଣ କଲେ ଏବଂ ଏହି କଣିକାମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଗତିବେଗର ପରିବର୍ତ୍ତନ ସହିତ ବସ୍ତୁତ୍ୱର. ଯେଉଁ ପରିବର୍ତ୍ତନ ସେ ଲକ୍ଷ୍ୟ କରିଥିଲେ, ତାହା ପରେ ଆପେକ୍ଷିକବାଦର ବିଶେଷ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ବୁଝାଇ ହୋଇଥିଲା । ପ୍ରାୟ $0.96\ c$ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ((c = ଆଲୋକର ଗତିବେଗ) ଯେଉଁ ଅତ୍ୟଧିକ ପରିମାଣର ଗତିବେଗ ଲକ୍ଷ୍ୟ କରାଗଲା, ସେଥିରୁ ଜଣାଗଲା ଯେ ତେଜସ୍କ୍ରିୟତା କୌଣସି ସାଧାରଣ ରାସାୟନିକ ଘଟଣା ନୁହେଁ ।

ରୁଥରଫୋର୍ଡ଼ 1903 ମସିହାରେ α-ରଶ୍ମିର ଚୁମ୍ବକୀୟ ବିକ୍ଷେପଣ ଦର୍ଶାଇଥିଲେ । ରୁଥରଫୋର୍ଡ଼ଙ୍କର ନିଜ ତାଲିକାରୁ ଏହି ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛକର ବିକ୍ଷେପଣ କିପରି କଷ୍ଟ ସାଧ୍ୟ, ତାହା ଜଣାଯିବ । ତାଙ୍କ ତାଲିକା ଅନୁସାରେ $1 Wb/m^2$ କ୍ଷେତ୍ରରେ ବକ୍ରତାର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ପ୍ରାୟ 39 $cm.$ ହୋଇଥିଲା । ସେହି ଅବସ୍ଥାରେ ଗୋଟିଏ ସାଧାରଣ ନଳୀରୁ କାଥୋଡ଼ ରଶ୍ମିର ବକ୍ରତା ହୋଇଥାନ୍ତା ମାତ୍ର 0.01 $cm.$ । ଏହାର ବକ୍ରତାର ଦିଗରୁ ଏହା ଯୁକ୍ତ ଚାର୍ଜ ବିଶିଷ୍ଟ ବୋଲି ଜଣାଗଲା । ଚୁମ୍ବକୀୟ ଓ ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ବିକ୍ଷେପଣ

ପ୍ରଣାଳୀ ବ୍ୟବହାର କରି RaC′ (Po^{214})ର α-କଣିକାମାନଙ୍କ ପାଇଁ ରୁଥରଫୋର୍ଡ଼ $v = 2{\cdot}5 \times 10^7$ ମି./ସେ. ଓ $e/m = 6 \times 10^7$କୁ/kg. ପାଇଲେ (ଏଠାରେ RaC′ ରେଡ଼ିୟମରୁ ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ ହୋଇଥିଲା) । α-କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ଗତିପଥ ବିଶିଷ୍ଟ ଦଳ ଦଳ କଣିକା ବୋଲି ଜଣାଗଲା; β-ରଶ୍ମିରେ କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ଏପରି ଜଣାପଡ଼ୁ ନଥିଲେ । ଆହୁରି ଅଧିକ ସୂକ୍ଷ୍ମଭାବରେ ହିସାବ କରିବାରୁ α-କଣିକାଗୁଡ଼ିକର e/m ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ଆୟନର e/mର ଅର୍ଦ୍ଧେକ ବୋଲି ଜଣାଗଲା । ତେଣୁ ଏହା ଯୁଗ୍ମ ଆୟନୀଭୂତ ହିଲିୟମ୍ ବୋଲି ଚିହ୍ନାଗଲା । ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ଖଣିଜମାନଙ୍କ ସହିତ ସର୍ବଦା ହିଲିୟମ୍ ମିଳୁଥିବାରୁ ଏହି ପ୍ରସ୍ତାବଟି ବିଶିଷ୍ଟ ଭାବରେ ଆକର୍ଷଣୀୟ ହୋଇଥିଲା ।

ପ୍ରତି ଗ୍ରାମ୍ ରେଡ଼ିୟମରୁ କେତେ ପରିମାଣରେ α-କଣିକା ବିକରିତ ହେଉଛି, ତାହା ରୁଥରଫୋର୍ଡ଼ ଓ ଗାଇଗର 1908 ମସିହାରେ କେତେକ ପରୀକ୍ଷାରେ ସିଧାସଳଖ ମାପ କରିଥିଲେ । ଏଗୁଡ଼ିକ ଦ୍ୱାରା ମୋଟରେ କେତେ ଚାର୍ଜ ମିଳିଲା, ତାହା ମଧ୍ୟ ସେମାନେ ମାପ କରିଥିଲେ । ତେଣୁ ଗୋଟିଏ α-କଣିକାର ଚାର୍ଜ ପରିମାଣ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରିବା ସମ୍ଭବ ହୋଇଥିଲା । ଚିତ୍ର ୮·୨ରେ ପ୍ରଥମ ପରୀକ୍ଷାରେ ବ୍ୟବହୃତ ଯନ୍ତ୍ରପାତି ଦେଖାଇ ଦିଆ-ଯାଇଛି । ଗୋଟିଏ ଶକ୍ତ ପାତ୍ର A ମଧ୍ୟସ୍ଥ ଗୋଟିଏ ପାତ୍ର Dରେ ରେଡ଼ିୟମ ଜମି ରହିଛି । ଯେତେବେଳେ ଷ୍ଟପ୍‌କକ୍ F ଖୋଲିଯିବ, α-କଣିକାସବୁ ଗୋଟିଏ ଛିଦ୍ର S ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଗତିକରି ଗଣକ C ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରବେଶ କରିବେ । ଛିଦ୍ର S ପାତଳ ମାଇକା ପାତରେ ଘୋଡ଼ା ହୋଇଥିଲା । ଗଣକ ହେଲା ଇବୋନେଟ ପ୍ଲଗଯୁକ୍ତ ଗୋଟିଏ ଧାତୁନଳୀ ଓ ଏହାର ମଧ୍ୟଭାଗରେ ଗୋଟିଏ ସରୁ ତାର ଯାଇଅଛି । ଏହି ନଳୀର ଗୋଟିଏ ପାଖ ଗୋଟିଏ ବହୁ ବିଭବଯୁକ୍ତ ବ୍ୟାଟେରୀର ବିଯୁକ୍ତ ପାର୍ଶ୍ୱକୁ ଯୋଗ କରାଯାଇଅଛି ଏବଂ ବ୍ୟାଟେରୀର ଅନ୍ୟ ପାର୍ଶ୍ୱଟି ଭୂମି ସହିତ ସଂଯୁକ୍ତ । କେନ୍ଦ୍ରସ୍ଥ ତାରଟି ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରୋମିଟର E ସହିତ ଯୋଡ଼ା ହୋଇଛି । ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରୋମିଟରଟି ଭୂମି ସହିତ ଗୋଟିଏ ଅଧିକ ମୂଲ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ପ୍ରତିରୋଧକ ଦ୍ୱାରା ସଂଯୁକ୍ତ ହୋଇଅଛି । ଗଣକ ମଧ୍ୟସ୍ଥ ବାୟୁକୁ କେତେକ ସେଣ୍ଟିମିଟର ପାରଦ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ନିଷ୍କାସନ କରିଦେଲେ; ଏଥି ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ α-କଣିକା ଗତି କଲେ କ୍ଷଣକ ପାଇଁ ଯେଉଁ ଚାର୍ଜ ନିଷ୍କାସିତ ହେବ, ତାହା ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରୋମିଟରକୁ ହଲାଇ ଦେବ । ପ୍ରତି ଗ୍ରାମ ରେଡ଼ିୟମରୁ [ପ୍ରକୃତରେ 1ଗ୍ରା. ରେଡ଼ିୟମ ସହିତ ସାମ୍ୟ ଅବସ୍ଥାରେ ରହିଥିବା RaC′ (Po^{214})ରୁ] ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ $3{\cdot}4 \times 10^{10}$

α-କଣିକା ବାହାରେ ବୋଲି ଏହି ସବୁ ସାହାଯ୍ୟରେ ରୁଥରଫୋର୍ଡ଼ ଓ ଗାଇଗର ସ୍ଥିର କରିଥିଲେ । ଦ୍ୱିତୀୟ ପରୀକ୍ଷାରେ, ଗୋଟିଏ ଶକ୍ତ ପାତ୍ର, ମଧ୍ୟରେ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ବସ୍ତୁ ରଖି ତା ଉପରେ ଗୋଟିଏ ପ୍ଲେଟ'ଝୁଲାଇ ସିଧାସଳଖ ଭାବରେ ଚାର୍ଜ ପରିମାଣ ସ୍ଥିର କରିଥିଲେ । ଗୋଟିଏ ଅନୁପ୍ରସ୍ଥ ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ର ବ୍ୟବହାର କରି ସରଞ୍ଜାମ ଉପରୁ β-ରଶ୍ମିଗୁଡ଼ିକୁ ଏବଂ ଦ୍ୱିତୀୟ ସ୍ତର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକୁ ଦୂରେଇ ଦେଇଥିଲେ । $1{\cdot}05 \times 10^{-5}$ କୁ/କ.ଘ. ଫଳ



[ଚିତ୍ର ୮'୨ ରେଡ଼ିୟମ ଦ୍ୱାରା α-କଣିକାଗୁଡ଼ିକୁ ଗଣିବାପାଇଁ ରୁଥରଫୋର୍ଡ଼ ଓ ଗାଇଗରଙ୍କର ସରଞ୍ଜାମ । ଉତ୍ସ Dରୁ କଣିକାକୁ ବାହାର S ଛିଦ୍ର ଦେଇ ଯାଇ ଗଣକ Cରେ ଗଣା ହୁଅନ୍ତି ।

ମିଳିଲା । ଏହି ସଂଖ୍ୟାକୁ α-କଣିକାମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟାରେ ଭାଗ କଲେ ପ୍ରତି α-କଣିକାର ଚାର୍ଜ ପରିମାଣ $3{\cdot}1 \times 10^{-19}$କୁ ମିଳିଲା । ଏହା ଦୁଇଟି ମୌଳିକ ଚାର୍ଜ ପରିମାଣ ସହିତ ସମାନ । ପ୍ରକୃତରେ α-କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ହିଲିୟମ୍ ଆୟନ ବୋଲି ଆଉ ସନ୍ଦେହ ରହିଲା ନାହିଁ । 1909 ମସିହାରେ ଯେତେବେଳେ α-କଣିକାଗୁଡ଼ିକୁ ଗୋଟିଏ ମୁଦା କାଚ ପାତ୍ର ଭିତରେ ପ୍ରବେଶ କରାଇ ଆଲୋକ ବିଶ୍ଳେଷଣ ପ୍ରଣାଳୀରେ ରୁଥରଫୋର୍ଡ଼ ଓ ରଏଡ୍ ହିଲିୟମ୍ ଗ୍ୟାସର ସନ୍ଧାନ ପାଇଲେ । ସେତେବେଳେ ଏହାର ଅଧିକ ସିଦ୍ଧାନ୍ତମୂଳକ ପ୍ରମାଣ ମିଳିଗଲା ।

Po^{214}ରୁ ବାହାରୁଥିବା α-କଣିକାମାନଙ୍କର ଗତିବେଗର ଠିକ୍ ମୂଲ୍ୟ ରୁଥରଫୋର୍ଡ଼ ସ୍ଥିର କରିଥିଲେ ସେଥିରୁ ଜଣାଗଲା ଯେ ଏହାର ଶକ୍ତି ପ୍ରକୃତରେ ଅତି

ଅଧିକ । ପାରମାଣବିକ ଓଜନ ଓ ଆଭୋଗାଡ୍ରୋ ସଂଖ୍ୟାରୁ ହିଲିୟମ ପରମାଣୁର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ପରିମାଣ

$$M = \frac{4 \cdot 00}{6 \cdot 02} \times 10^{-20} = 6 \cdot 64 \times 10^{-27}\ kg.$$

ବୋଲି ଜଣାଅଛି । ତେଣୁ ଏହାର ଗତିଜ ଶକ୍ତି $\frac{1}{2}mv^2 = 1 \cdot 23 \times 10^{-13}$ J $= 7 \cdot 7$ମି.ଇ.ଭି ତେଣୁ ଗୋଟିଏ ରାସାୟନିକ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ଯେତେ ଶକ୍ତି ନିଷ୍କାସିତ ହୋଇଥାଏ, α-କଣିକାର ନିଷ୍କାସନରେ ଏଥିରୁ କେତେକ ଅୟୁତଗୁଣ ଶକ୍ତି ଜଡ଼ିତ । ରୁଥରଫୋର୍ଡ ଓ ସଡ଼ି ଦର୍ଶାଇଲେ ଯେ ପୃଥିବୀରେ ଅଳ୍ପ ପରିମାଣର ରେଡ଼ିୟମ (ଓଜନରେ 10^{-14} ପରିମାଣରେ) ଥିଲେ ଏହା ବିକିରଣ ଦ୍ୱାରା ହରାଉଥିବା ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ପୂରଣ ହୋଇଯାଆନ୍ତା । ସୂର୍ଯ୍ୟର ତାପ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ବସ୍ତୁରୁ ଉତ୍ପନ୍ନ ହେଉଥିବ ବୋଲି ସେମାନେ ପ୍ରସ୍ତାବ କରିଥିଲେ । ବର୍ତ୍ତମାନ ଆମେ ଅଧିକ ଉନ୍ନତ ତତ୍ତ୍ୱ ସାହାଯ୍ୟରେ ସୌର ଓ ଜ୍ୟୋତିଷ୍କମାନଙ୍କର ଶକ୍ତିର ଉତ୍ସ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଜ୍ଞାନ ଲାଭ କରି ପାରିଛୁ (ଅନୁ: ୬୫·୧୨) ।

α-ରଶ୍ମି ଓ β-ରଶ୍ମି ଯେପରି ସହଜରେ ପର୍ଯ୍ୟାଲୋଚନା କରାଯାଇ ପାରିଲା । ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ବିକିରଣର ତୃତୀୟ ସଂଯୋଜକ, γ ରଶ୍ମି, ସେପରି ସହଜ ରେ କରାଯାଇ ପାରିଲେନାହିଁ । γ ରଶ୍ମି ଅଧିକ ପରିମାଣରେ ବସ୍ତୁ ଭେଦ କରିଯାଇପାରିଲା ଏବଂ ତାହା ବୈଦ୍ୟୁତିକ ବା ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ଦ୍ୱାରା ବିକ୍ଷେପିତ ହୋଇପାରିଲା ନାହିଁ । ତେବେ, ତାହା ବାୟୁରେ ଆୟନ ସୃଷ୍ଟି କଲା ଏବଂ ଅନେକ ପ୍ରକାରର ସ୍ଫଟିକରେ ପ୍ରତିଦୀପ୍ତି ସୃଷ୍ଟି କରି ପାରିଲା । ଏହି ପ୍ରଣାଳୀରେ ସାଧାରଣତଃ ତାକୁ ଜାଣିହୁଏ । ଏକ୍ସରେ ପରି ଏହା ଏକ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ତରଙ୍ଗ ହୋଇପାରେ ବୋଲି ଆଗରୁ ଅନୁମାନ କରାଯାଉଥିଲା । କିନ୍ତୁ ଏହି ଅନୁମାନର ସତ୍ୟାସତ୍ୟ ନିର୍ଦ୍ଧାରଣ କରିବାପାଇଁ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ବିକିରଣର ବସ୍ତୁ ସହିତ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ସମ୍ବନ୍ଧରେ ପୂର୍ଣ୍ଣ ଧାରଣା ଜନ୍ମିବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଅପେକ୍ଷା କରିବାକୁ ହୋଇଥିଲା ।

8·3 ପାରମାଣବିକ ଗଠନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ପୂର୍ଣ୍ଣ ଧାରଣା :

ଊନବିଂଶ ଶତାବ୍ଦୀର ପ୍ରଥମାବସ୍ଥାରୁ ପାରମାଣବିକ ଗଠନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ନାନା କଳ୍ପନା କଳ୍ପନା ଚାଲିଥିଲା । ସମସ୍ତ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥର ପରମାଣୁ ଉଦ୍‌ଜାନର ପରମାଣୁ

ନେଇ ଗଠିତ ବୋଲି 1815 ମସିହାରୁ ପ୍ରାଉଟ୍ ପ୍ରସ୍ତାବ ଦେଇଥିଲେ । କିନ୍ତୁ ଯେତେବେଳେ ସ୍ଥିର ହୋଇଗଲା ଯେ କେତେକ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥର ପରମାଣୁ ଉଦ୍‌ଜାନର ପରମାଣୁର ଗୁଣିତକମାନଙ୍କଠାରୁ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ଭାବରେ ଭିନ୍ନ, ସେତେବେଳେ ଏ ଅନୁମାନ ଆଉ ଗ୍ରହଣଯୋଗ୍ୟ ହେଲାନାହିଁ ।

1897 ମସିହାରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଆବିଷ୍କୃତ ହେବାରୁ ଧନାତ୍ମକ ଚାର୍ଜ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଓ କୌଣସି ଯୁକ୍ତ ଚାର୍ଜ ପରମାଣୁରେ ଥିବାର ସୂଚନା ମିଳୁଛି ବୋଲି ପୁଣି ନୂତନ ଚର୍ଚ୍ଚା ଆରମ୍ଭ ହେଲା । ସେତେବେଳେ ଦୁଇଟି ପ୍ରଶ୍ନ ଉଠିଲା :

(୧) ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁରେ କେତୋଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଅଛି ?

(୨) ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଓ ଯୁକ୍ତ ଚାର୍ଜ କିପରି ସଜ୍ଜା ହୋଇଛନ୍ତି ?

1909 ଓ 1911 ମଧ୍ୟରେ ଏକ୍ସରେର ବିକ୍ଷେପଣରୁ ବାର୍କଲା ପ୍ରମାଣ ପାଇଲେ ଯେ ହାଲୁକା ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସଂଖ୍ୟା ପାରମାଣବିକ ଓଜନର ଅଧା ସଙ୍ଗେ ସମାନ । ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସଜ୍ଜା ସମ୍ବନ୍ଧରେ ମନେ ହେଲା ଯେ, ପୁରାତନ ଧାରଣା ଅନୁସାରେ ଦୁଇଟି ସର୍ତ୍ତ ପୂରଣ ହେବା ଦରକାର । (୧) ଯୁକ୍ତ ଚାର୍ଜ ଓ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନକୁ ନେଇ ଗଠିତ ମଣ୍ଡଳଟି ସ୍ଥାୟୀ ହେବା ଦରକାର । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ କୌଣସି ବଳ ସାହାଯ୍ୟରେ ନିଜ ନିଜର ସ୍ଥାନରେ ସ୍ଥିର ରହିପାରିବେ ଓ ଯେତେବେଳେ ବିଶୃଙ୍ଖଳିତ ହେବେ, ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଆବୃତ୍ତିରେ କମ୍ପି ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ରେଖାସବୁ ସୃଷ୍ଟି କରିପାରିବେ । (୨) ଯେତେବେଳଯାଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ବିଶୃଙ୍ଖଳିତ ହେବେନାହିଁ, ସେତେବେଳଯାଏ ସେମାନେ ସ୍ଥିର ରହିଥିବେ, ନହେଲେ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକବାଦ ଅନୁସାରେ ଏମାନେ ବିକିରଣ କରିବେ । ପରମାଣୁର ଅତ୍ୟନ୍ତ ଅଧିକ ପରିମାଣର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଯୁକ୍ତ ଚାର୍ଜ ଲାଗି ହେଉଛି ବୋଲି ଅନୁମାନ କରାଗଲା ଏବଂ ଏହି କାରଣରୁ ଯୁକ୍ତ ଚାର୍ଜ ବିଶେଷ କମ୍ପନ ସୃଷ୍ଟି କରେନାହିଁ ।

ଗୋଟିଏ ସମ୍ଭାବନା ଜେ. ଜେ. ଥମସନ୍ ବିଚାର କଲେ । ଯୁକ୍ତ ଚାର୍ଜ ଯେପରି ଗୋଟିଏ ଗୋଲକରେ ଗୋଟିଏ ଛୋଟିଆ ଅଞ୍ଚଳରେ ଅବିରତ ଭାବରେ ସମାନ ସାନ୍ଦ୍ରତାରେ ବାଣ୍ଟି ହୋଇ ରହିଛି । ଏହି ଯୁକ୍ତ ଚାର୍ଜ ମଧ୍ୟରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସବୁ ପ୍ରୋଥିତ ହୋଇ

ସାଧାରଣ ଅବସ୍ଥାରେ କେତେକ ସାମ୍ୟ ସ୍ଥାନମାନଙ୍କରେ ରହନ୍ତି; ସାମାନ୍ୟ ବିଶୃଙ୍ଖଳିତ ହୋଇଗଲେ ସେହି ସ୍ଥାନରେ ସଂନାଦୀ ବାହ୍ୟାରମ୍ଭକ କମ୍ପନ ସୃଷ୍ଟି କରନ୍ତି । ଏହିପରି ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର ଦୃଶ୍ୟମାନ ଅଂଶର ଆବୃତ୍ତି ସବୁ ନିକଟତ ହୋଇଥାଏ । ଏଥିପାଇଁ ଯୁକ୍ତ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ଗୋଲକର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ 10^{-10} ମି. କୋଟୀର ହେବା ଦରକାର । ମାତ୍ର ଏହି ଆବୃତ୍ତିଗୁଡ଼ିକ ଗୋଟିଏ ଶ୍ରେଣୀରେ ରହି କୌଣସି ଏକ ଊର୍ଦ୍ଧ୍ୱ ଲିମିଟ୍‌କୁ ଅନୁସରଣ କରିବେ ବୋଲି ଥମସନ୍ ଦେଖାଇ ପାରିଲେ ନାହିଁ । ତାଙ୍କ ମତ ରୁଥରଫୋର୍ଡ଼ ଓ ତାଙ୍କର ସହକର୍ମୀମାନଙ୍କର ∝ କଣିକା ବିଚ୍ଛୁରଣ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ପରୀକ୍ଷାମାନଙ୍କର କାର୍ଯ୍ୟତଃ ନିରୁକ୍ତାଚରଣ କଲା । ଏହି ପରୀକ୍ଷା ଏଠାରେ ବର୍ଣ୍ଣନା କରାଯିବ ।

8·4 ∝କଣିକାମାନଙ୍କର ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ବିଚ୍ଛୁରଣ :

ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ବସ୍ତୁମାନଙ୍କଠାରୁ ବାହାରୁଥିବା ∝-ରଶ୍ମି ସବୁ ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ହରାଇଥିବା ହିଲିୟମ୍ ପରମାଣୁ ବୋଲି ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଛି । ଯେଉଁ ∝-କଣିକାଗୁଡ଼ିକର ପ୍ରାଥମିକ ଗତିବେଗ 2×10^{7} ମି/ସେ. କୋଟୀର, ସେଗୁଡ଼ିକ ଜିଙ୍କସଲଫାଇଡ଼ ପରଦାରେ ଆଘାତ କରି ଯେଉଁ ସ୍ଫୁଲିଙ୍ଗ ସୃଷ୍ଟି କରନ୍ତି, ତା ସାହାଯ୍ୟରେ ପର୍ଯ୍ୟାଲୋଚିତ ହୋଇ ପାରିବେ, ଗୋଟିଏ କଣିକାର ଆଘାତରେ ସୃଷ୍ଟି ହେଉଥିବା ଦୃଶ୍ୟମାନ ସ୍ଫୁଲିଙ୍ଗ ସହଜରେ ଗୋଟିଏ ସ୍ୱଳ୍ପ-ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଅଣୁବୀକ୍ଷଣ ଯନ୍ତ୍ରରେ ଦେଖାଯାଇପାରିବେ ।

ଯଦି ଗୋଟିଏ ∝-କଣିକାର ସ୍ରୋତ ସୁବିଧାଜନକ ମଧ୍ୟଚ୍ଛେଦ ଦ୍ୱାରା ସୀମିତ ହୋଇ ଗୋଟିଏ ସରୁ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛରେ ଯାଇ, ଏହି କଣିକାମାନଙ୍କର ପଥ ପ୍ରତି ଲମ୍ବ ଭାବରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ ଜିଙ୍କ ସଲଫାଇଡ଼ ପ୍ଲେଟ ଉପରେ ପଡ଼େ, ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛର ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦର କ୍ଷେତ୍ରଫଳ ସହିତ ସମାନ କ୍ଷେତ୍ରଫଳ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ସୁଚିହ୍ନିତ ବୃତ୍ତାକାର କ୍ଷେତ୍ର ମଧ୍ୟରେ ସ୍ଫୁଲିଙ୍ଗ ସୃଷ୍ଟି କରିବ । ଯଦି ବର୍ତ୍ତମାନ ସୁନା ବା ରୁପାପାତ ପରି କୌଣସି ପାତଳ ବସ୍ତୁଖଣ୍ଡ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛର ପଥ ମଧ୍ୟରେ ରଖି ଦିଆଯାଏ, ତେବେ ଦେଖାଯିବ ଯେ ସେମାନେ ଏହି ପାତ ମଧ୍ୟରେ ସହଜରେ ଗଳି ଯାଇପାରିବେ, କିନ୍ତୁ ଯେଉଁ କ୍ଷେତ୍ରରେ ସ୍ଫୁଲିଙ୍ଗ ଦେଖାଯାଉଥିଲା, ତାର ଆକାର ବଢ଼ିଯିବ ଓ ସୀମା ଅସ୍ପଷ୍ଟ ହୋଇଯିବ । ଏଥିରୁ ଜଣାଯିବ ଯେ କେତେକ କଣିକା ସେମାନଙ୍କର ମୂଳ ଗତିପଥରୁ ବିକ୍ଷେପିତ ହୋଇଯିବେ ।

α-କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ଯେଉଁ ବଳଦ୍ୱାରା ବିକ୍ଷେପିତ ହେଉଛନ୍ତି, ତାହାର ପ୍ରକୃତି ସ୍ଥୂଳ ଗୁଣାତ୍ମକ ଭାବରେ ବିଚାର କରିବା ସହଜ । କଣିକାଟିର ନିଜର ଦୁଇଟି ଯୁକ୍ତ ଚାର୍ଜ ଅଛି । ବିଚ୍ଛୁରକ ବସ୍ତୁର ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକରେ ଯୁକ୍ତ ଓ ବିଯୁକ୍ତ ଦୁଇପ୍ରକାରର ଚାର୍ଜ ରହିଅଛି । ବିଚ୍ଛୁରକ ବସ୍ତୁ ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଗତି କଲାବେଳେ କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ବଳ ଅନୁଭବ କରନ୍ତି । କଣିକାଟିଏ ଯେଉଁ ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ନିକଟ ଦେଇଯାଏ, ତା'ର କେନ୍ଦ୍ରର କେତେ ନିକଟକୁ ଯାଏ, ତାଉପରେ ଏହି ବଳର ଦିଗ ଓ ପରିମାଣ ନିର୍ଭର କରେ ।

ଆମେ ପରମାଣୁ ପାଇଁ ଥମସନ୍ ମଡ଼େଲ ନେଲେ ଚିତ୍ର ୮·୩କରେ ଯେପରି ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଛି ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁ ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଗଲାବେଳେ ଗୋଟିଏ α-କଣିକାର ଗତିପଥ ସେହିପରି ହୋଇପାରେ । ଏହି ଗତିର ମୋଟ ଫଳ ହେବ ଯେ କଣିକାଟି ଗୋଟିଏ ଛୋଟ କୋଣ θ ଦ୍ୱାରା ବିକ୍ଷେପିତ ହୋଇଯିବ । θ ଯେ ଛୋଟ ହେବ, ତାହା ନିମ୍ନଦତ୍ତ ଯୁକ୍ତିରୁ ଜଣାପଡ଼ିଯିବ ।

[ଚିତ୍ର ୮·୩ (a) ଥମସନ୍ ପରମାଣୁ ଓ (b) ରୁଥରଫୋର୍ଡ଼ଙ୍କର ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ପରମାଣୁ ଦ୍ୱାରା α କଣିକାର ବିକ୍ଷେପଣର ତୁଳନା]

ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଭାବରେ ସୁଷମ । ତେଣୁ ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁର ଗୋଟିଏ ବ୍ୟାସରେ ଗତି କଲେ ଗୋଟିଏ α କଣିକାଯୁକ୍ତ ବିଦ୍ୟୁତ ଲାଗି କୌଣସି ମୋଟ ବଳ ଅନୁଭବ କରିବନାହିଁ; ଯେହେତୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକଙ୍କଠାରୁ ଏହା ବହୁଦୂରରେ

ଘୁଞ୍ଚିଯିବ, ସେମାନଙ୍କ ଲାଗି ସାମାନ୍ୟ ବିକ୍ଷେପିତ ହେବ । ମାତ୍ର ଯଦି କୌଣସି ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ସହିତ ଏହାର ଧକ୍କା ହୋଇଯିବ, ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନର ଅପସରଣ ଗତିବେଗ $2v$ରୁ ଅଧିକ ହେବନାହିଁ । (ଏଠାରେ v କଣିକାର ମୂଳ ଗତିବେଗ) କାରଣ ଗୋଟିଏ ସ୍ଥିତି ସ୍ଥାପକ ଆଘାତରେ ପୃଥକ୍‌କରଣ ଗତିବେଗ ସାନ୍ନିଧ୍ୟ ଗତିବେଗଠାରୁ ଅଧିକ ହୋଇପାରିବନାହିଁ । ତେଣୁ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନର ବସ୍ତୁତ୍ୱ m ହେଲେ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ସର୍ବାଧିକ $2mv$ ସଂବେଗ ପାଇ ପାରିବ ଏବଂ ସେହି ପରିମାଣରେ ସଂବେଗ α କଣିକା ହରାଇବ । ତେଣୁ ମୂଳ ସଂବେଗ ପ୍ରତି ଲମ୍ବ ଭାବରେ α କଣିକାର ସଂବେଗର ସଂଯୋଜକ ନିଶ୍ଚୟ $2mv$ରୁ କମ୍ ହେବ ଏବଂ ସର୍ବାଧିକ ବିଚ୍ଛୁରଣ କୋଣ θ_{max} ନିଶ୍ଚୟ $2mv/mv$ରୁ କମ୍ ହେବ (ଏଠାରେ m ହେଲା α କଣିକାର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଓ ଏହାର ବିକ୍ଷେପଣ 10^{-3} ରେଡିୟାନଠାରୁ ବହୁତ କମ୍) ।

ସର୍ବଶେଷରେ, ଯୁକ୍ତ ଅଣୁସ୍ଥଳର ପ୍ରଭାବରେ ଅଧିକ ବିକ୍ଷେପଣ ସମ୍ଭବ ନୁହେଁ । ପରମାଣୁ ମଧ୍ୟରେ ଯେକୌଣସି ଗତିପଥ ପାଇଁ ‑ଘନଖଣ୍ଡ ସବୁ ଗତିପଥର ବିଭିନ୍ନ ପାର୍ଶ୍ୱରେ ପ୍ରତି ସାମ୍ୟଭାବରେ ସଜ୍ଜା ହୋଇ ରହିଛନ୍ତି ଏବଂ ପରସ୍ପରର ପ୍ରଭାବକୁ ସମତୁଲ କରି ଦେଉଛନ୍ତି । ଏଥି ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରୋଥିତ ' ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକର ପ୍ରଭାବକୁ ଉପେକ୍ଷା କଲେ ମଧ୍ୟ ସର୍ବାଧିକ ବିକ୍ଷେପଣ 10^{-4} ରେଡ଼ିୟାନ କୋଟିର ହେବ । ଗୋଟିଏ ବିଚ୍ଛୁରଣ ବସ୍ତୁର ପାତ ମଧ୍ୟରେ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ପରମାଣୁ ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଗଲାବେଳେ ଗୋଟିଏ α-କଣିକାର ମୋଟ ବିଚ୍ଛୁରଣ ସାମ୍ଭାବ୍ୟ ନିୟମ ଅନୁସାରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହେବ । ଏହିପରି ଏକ ପ୍ରଣାଳୀକୁ ଗୁଣିତକ ବା ଜଟିଳ ବିଚ୍ଛୁରଣ କୁହାଯାଏ । ରୁଥରଫୋର୍ଡଙ୍କ ଅନୁସାରେ, ଏହିପରି ଜଟିଳ ବିଚ୍ଛୁରଣ ଫଳରେ କୋଣ ϕ ବା ତଦୂର୍ଦ୍ଧ୍ୱ କୌଣସି କୋଣରେ N_ϕ ସଂଖ୍ୟକ α କଣିକା ବିଚ୍ଛୁରିତ ହେଲେ $N_\phi = N_0 e^{-\left(\frac{\phi}{\phi_m}\right)^2}$ ହେବ ।

ଏଠାରେ N_0 ହେଲା ଏବଂ $\phi = 0$ ପାଇ କଣିକା ସଂଖ୍ୟା ଏବଂ ବିଚ୍ଛୁରକ ବସ୍ତୁ ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଗତି କରିବା ପରେ ଗଡ଼ ବିକ୍ଷେପଣ ।

ଗାଇଗର୍ ପରୀକ୍ଷାଦ୍ୱାରା ଦର୍ଶାଇଛନ୍ତି ଯେ ଗୋଟିଏ $\frac{1}{200}$ ମି. ମି. ମୋଟା ସୁନା ପାତ ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଗତି କରିବାରେ ଗୋଟିଏ α କଣିକା ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛର ସର୍ବାଧିକ ସାମ୍ଭାବ୍ୟ

ବିକ୍ଷେପଣ କୋଣ 1° କୋଟୀର ହେବ । ତେଣୁ ଶେଷ ସମୀକରଣରୁ ଏହା ସ୍ପଷ୍ଟ ଯେ ବଡ଼ କୋଣମାନଙ୍କରେ ବିକ୍ଷେପଣ ହେବାର ସମ୍ଭାବନା ନଥିଲା ଯଥା ସ୍ଥାନ; ଏହା 10^{-13} କୋଟୀର ହେବ । ମାତ୍ର ଗାଇଗର ଦେଖାଇଲେ ଯେ ଏହି ହିସାବରୁ ଯେଉଁ ସଂଖ୍ୟକ କଣିକା ବଡ଼ କୋଣମାନଙ୍କରେ ବିକ୍ଷେପିତ ହେବାର କଥା, ତା'ଠାରୁ ବହୁତ ବେଶି ସଂଖ୍ୟକ କଣିକା ବିକ୍ଷେପିତ ହୋଇଥାଏ । ପ୍ରକୃତପକ୍ଷେ, ଗୋଟିଏ ପାତଳ ପ୍ଲାଟିନମ ପରଦା ଦ୍ୱାରା 8000ରେ ଗୋଟିଏ α କଣିକା 90°ରୁ ଅଧିକ କୋଣରେ ବିକ୍ଷେପିତ ହୋଇଯାଏ । ଏହିପରି ତଥାକଥିତ ପ୍ରତିଫଳନ ଉପରିସ୍ତରରୁ ନହୋଇ ବସ୍ତୁର ଘନର ଫଳ ବୋଲି ଦର୍ଶାଯାଇଥିଲା । କାରଣ ବିଚ୍ଛୁରକ ପାତର ମୋଟା ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ 90°ରୁ ଅଧିକ କୋଣରେ ବିଚ୍ଛୁରିତ ହେବା α କଣିକାମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ଗୋଟିଏ ଅବସ୍ଥା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ବୃଦ୍ଧି ପାଇଥାଏ ।

8·5 ନିଉକ୍ଲିଅର ପରମାଣୁ :

(କ) ରୁଥରଫୋର୍ଡ଼ଙ୍କର ଅନୁମାନ !

ରୁଥରଫୋର୍ଡ଼ 1911 ମସିହାରେ ଗୋଟିଏ ଉଚ୍ଚକୋଟୀର ପ୍ରବନ୍ଧ ପ୍ରକାଶ କରି ସେଥିରେ α କଣିକାଗୁଡ଼ିକୁ ଗୋଟିଏ ଆଘାତରେ ବଡ଼ କୋଣରେ ବିକ୍ଷେପିତ ହୋଇ ପାରିବା ଭଳି ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁ-ମଡ଼େଲ ପ୍ରସ୍ତାବ କଲେ । ସେ ଅନୁମାନ କଲେ ଯେ ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁରେ ଯୁକ୍ତ ଚାର୍ଜ ଏବଂ ବସ୍ତୁତ୍ୱର ଅଧିକ ଅଂଶ କେନ୍ଦ୍ରସ୍ଥ ଗୋଟିଏ କ୍ଷୁଦ୍ର ଅଞ୍ଚଳରେ ସମାହୃତ ହୋଇଅଛି; ଏହି ସମାହୃତ ପଦାର୍ଥର ନାମ ହେଲା ନିଉକ୍ଲିୟସ୍ । ଏହା ଚାରିପଟେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ କୌଣସି ପ୍ରକାରରେ ରହିଛନ୍ତି । ଯେହେତୁ ସାଧାରଣ ଅବସ୍ଥାରେ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଦୃଷ୍ଟିରୁ ସୁଷମ, e ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଚାର୍ଜ ବୁଝାଉଥିବା ସଂଖ୍ୟା ହେଲେ ଓ z ପରମାଣୁର ଗୁଣସୂଚକ କୌଣସି ସଂଖ୍ୟା ହେଲେ, ନିଉକ୍ଲିୟସର ଯୁକ୍ତ ଚାର୍ଜ ପରିମାଣ ନିଶ୍ଚୟ Ze ହେବ ।

ଏହିପରି ଏକ ନିଉକ୍ଲିୟସ୍ ଦ୍ୱାରା α କଣିକାର ବିକ୍ଷେପଣ ଚିତ୍ର 8·3b ଦ୍ୱାରା ଦର୍ଶାଯାଇପାରିବ । ଏହିପରି ଏକ ମଡ଼େଲ ଦ୍ୱାରା ଗୋଟିଏ ବିଚ୍ଛୁରଣରେ α କଣିକାମାନଙ୍କର ସାମ୍ଭାବ୍ୟ ବଣ୍ଟନ ରୁଥରଫୋର୍ଡ଼ ହିସାବ କରିଥିଲେ । ପରିଶିଷ୍ଟ 8କରେ

ରୁଥରଫୋର୍ଡ଼ଙ୍କର ଏହି ସୂତ୍ର ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ କରାଯାଇଅଛି । ବିଚ୍ଛୁରିତ α କଣିକାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ N_d ସଂଖ୍ୟକ କଣିକା A କ୍ଷେତ୍ରଫଳ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ସଂସ୍ଥାପକରେ ସଂଗୃହୀତ ହେଲେ

$$N_d = \frac{N_i n t A}{4R^2} \cdot \frac{4Z^2 e^4}{16\pi^2 \epsilon_0^2 m^2 v_0^4} \frac{1}{\sin^4(\phi/2)} \qquad (୮.୧)$$

ଏଠାରେ N_i = ପ୍ରତି ଏକକ ଘନରେ n ସଂଖ୍ୟକ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ୍ ଥିବା z ପାରମାଣିକ ସଂଖ୍ୟା ଓ t ମୋଟା ବିଶିଷ୍ଟ ଫଲକରେ ଆପତିତ α କଣିକାମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ।

R = ଫଲକଠାରୁ ସଂସ୍ଥାପକର ଦୂରତା ।

m = ଆପତିତ α କଣିକାମାନଙ୍କର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ।

v_0 = α କଣିକାମାନଙ୍କର ଗତିବେଗ ।

ϕ = ବିଚ୍ଛୁରଣ କୋଣ ।

e = ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନର ଚାର୍ଜ ।

ϵ_0 = ମୁକ୍ତ ସ୍ଥାନର ଗ୍ରାହ୍ୟତା ।

ତେବେ ଏହି ସୂତ୍ରକୁ ବିଚ୍ଛୁରକ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ୍‌ରେ ସଞ୍ଚାରିତ ଗତି ପାଇଁ ସଂଶୋଧନ କରିବାକୁ ହେବ । ହାଲୁକା ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଏହି ସଂଶୋଧନ ହେୟ ନୁହେ ।

ରୁଥରଫୋର୍ଡ଼ଙ୍କର ସୂତ୍ର ଅନୁସାରେ, ଗୋଟିଏ ସ୍ଥିର ସଂସ୍ଥାପକର ଚେତନାଯୁକ୍ତ ମୁଖ, ବିଚ୍ଛୁରିତ କଣିକାମାନଙ୍କ ପ୍ରତି ଲମ୍ବଭାବରେ ରହିଲେ, ଏହାକୁ ଆଘାତ କରୁଥିବା କଣିକାମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା

(୧) ବିଚ୍ଛୁରକ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ପାରମାଣିକ ସଂଖ୍ୟା z ର ବର୍ଗକୁ ଅନୁପାତୀ ହେବ ।

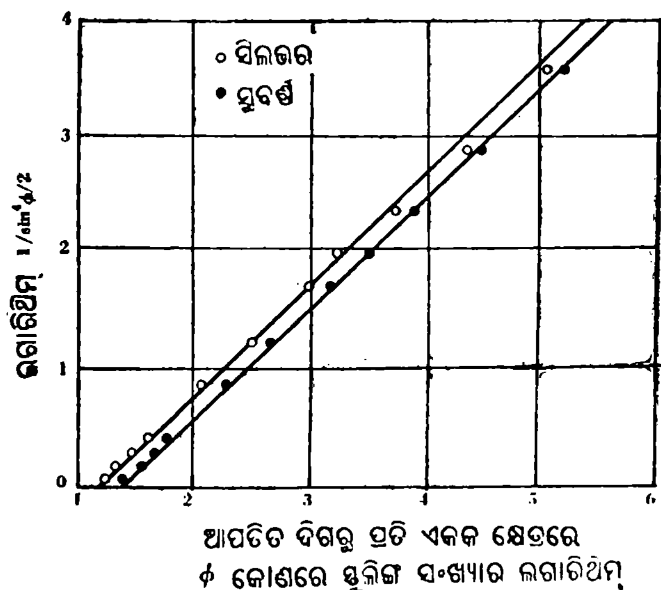
(୨) ଫଲକର ମୋଟା t କୁ ଅନୁପାତୀ ହେବ ।

(୩) କଣିକାମାନଙ୍କର ଗତିଜ ଶକ୍ତିର ବର୍ଗକୁ ପ୍ରତିଲୋମ ଅନୁପାତୀ ହେବ ଅର୍ଥାତ୍ v_0^4 କୁ ।

(୪) ବିଚ୍ଛୁରକ କୋଣର ଅର୍ଦ୍ଧର sine ର ଚତୁର୍ଥ ଶକ୍ତିକୁ ପ୍ରତିଲୋମ ଅନୁପାତୀ ହେବ ।

(ଖ) ପରୀକ୍ଷାମୂଳକ ପ୍ରତିଷ୍ଠା :

1913 ମସିହାରେ ଗାଇଗର ଓ ମାର୍ସ୍‌ଡେନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଏହି ସିଦ୍ଧାନ୍ତଗୁଡ଼ିକର ସତ୍ୟତା ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣଭାବରେ ପ୍ରତିପାଦିତ ହୋଇଥିଲା । ସେମାନଙ୍କର ପରୀକ୍ଷା ଫଳ ଚିତ୍ର ୮·୪ରେ ଗ୍ରାଫ କାଟି ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଏଥିରେ X-ଅକ୍ଷରେ ପ୍ରତି ମିନିଟରେ ପରଦାରେ ଦେଖାଯାଉଥିବା ସ୍ଫୁଲିଙ୍ଗ ସଂଖ୍ୟାର ଲୋଗାରିଥମ ଓ y-ଅକ୍ଷରେ $\frac{1}{\sin^4(\phi/2)}$ର ଲୋଗାରିଥମ ନିଆଯାଇଅଛି । ଯଦି ଏହି ଦୁଇ ସଂଖ୍ୟା ପରସ୍ପର ପ୍ରତି ଅନୁପାତୀ ହୁଅନ୍ତି, ତେବେ ପ୍ରତ୍ୟେକ ବସ୍ତୁପାଇଁ ବିନ୍ଦୁଗୁଡ଼ିକ ଅକ୍ଷମାନଙ୍କ ସହିତ 45° କୋଣ କରି ରହିଥିବା ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ସରଳରେଖାରେ ରହିବେ । ଚିତ୍ରରେ ରେଖା ଦୁଇଟି ଠିକ୍ 45° କୋଣ କରି ଟଣାଯାଇଛନ୍ତି ଏବଂ ଲବ୍ଧ ବିନ୍ଦୁଗୁଡ଼ିକ ସିଦ୍ଧାନ୍ତଗୁଡ଼ିକୁ ମାନିଲା ପରି ଜଣାପଡ଼ୁଛି । ଏହା ବିଶେଷ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ହେଉଛି କାରଣ ସ୍ଫୁଲିଙ୍ଗ ସଂଖ୍ୟା ପରୀକ୍ଷାରେ ବହୁ ପରିମାଣରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହେଉଅଛି, ଗ୍ରାଫ୍‌ରେ ବାମ ପାଖ ବିନ୍ଦୁଗୁଡ଼ିକ ରୁପା ପାଇଁ ମିନିଟକୁ



[ଚିତ୍ର ୮·୪ α-କଣିକାଗୁଡ଼ିକର ପାତଳ ଫଳକରେ ବିଚ୍ଛୁରଣ ପାଇଁ ଗାଇଗର ଓ ମାର୍ସ୍‌ଡେନ ପାଇଥିବା ଫଳ]

22ଟି କଣିକା ଏବଂ ସୁନା ପାଇଁ ମିନଟକୁ 33ଟି କଣିକା ଗୁଣାଇବାରୁ ଲେ, ତାହାଙ୍କ ପାଖ ବନ୍ଦୁଗୁଡିକ ଯଥାକ୍ରମେ 105·400 ଓ 13,2000 ବୃଝାଉଛୁ ।

ଅଳ୍ପ ମୋଟା ଫଳକମାନଙ୍କ ପାଇଁ ବିଚ୍ଛୁରଣ ପରିମାଣ ମୋଟାକୁ ଅନୁପାତୀ ହେବ ବୋଲି ରୁଥରଫୋର୍ଡ଼ ଯାହା ସିଦ୍ଧାନ୍ତ କରିଥିଲେ, ତାହା ପରୀକ୍ଷା ଦ୍ୱାରା ପ୍ରତିଷ୍ଠିତ ହେଲା । ଗାଇଗର ଓ ମାର୍ସଡେନ ଆହୁ ମଧ୍ୟ ଦେଖାଇଲେ ଯେ "ଗୋଟିଏ ଦତ୍ତ ଫଳକରେ ବିଚ୍ଛୁରଣର ପରିମାଣ ମୋଟାମୋଟି ଆପତିତ α-କଣିକାମାନଙ୍କର ଗତିବେଗର ଚତୁର୍ଥ ଶକ୍ତିକୁ ପ୍ରତିଲୋମ ଅନୁପାତୀ (ଶକ୍ତିର ବର୍ଗକୁ ପ୍ରତିଲୋମ ଅନୁପାତୀ) ।" ଏହି ସିଦ୍ଧାନ୍ତ ଯେଉଁ ଗତିବେଗମାନଙ୍କ ପାଇଁ ପରୀକ୍ଷିତ ସେଥିରେ ବିଚ୍ଛୁରିତ କଣିକାମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟାର ଅନୁପାତର ତାରତମ୍ୟ 1:10 କୋଟୀର ।

(ଗ) ପାରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା :

ପାରମାଣବିକ ଓଜନ ସହିତ ବିଚ୍ଛୁରଣରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ଲକ୍ଷ୍ୟ କରିବାକୁ ଯାଇ ଓ କୌଣସି କୋଣରେ ଅପତିତ କଣିକାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ କେତେ ଭଗ୍ନାଂଶ ବିଚ୍ଛୁରିତ ହେଉଛି ସ୍ଥିର କରିବାକୁ ଯାଇ ଗାଇଗର ଓ ମାର୍ସଡେନ ସିଦ୍ଧାନ୍ତ କଲେ—(୧) କାର୍ବନଠାରୁ ସୁନା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ବିଭିନ୍ନ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥରେ ବିଚ୍ଛୁରଣ ମୋଟାମୋଟି ବିଚ୍ଛୁରକର ପାରମାଣବିକ ଓଜନ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ ଏବଂ (୨) "ପରମାଣୁମାନଙ୍କର କେନ୍ଦ୍ରରେ ଥିବା ମୌଳିକ ଗୁର୍ଜର ସଂଖ୍ୟା ପାରମାଣବିକ ଓଜନର ଅର୍ଦ୍ଧେକ ।" ବାର୍କଲା ଏକ୍ସରେର ବିକିରଣ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ପରୀକ୍ଷା କରି ଯେଉଁ ସିଦ୍ଧାନ୍ତରେ ପହଞ୍ଚିଥିଲେ, ଦ୍ୱିତୀୟ ସିଦ୍ଧାନ୍ତଟି ତା ସହିତ ସମାନ । ତେଣୁ କାର୍ବନ, ନାଇଟ୍ରୋଜେନ ଓ ଅକ୍ସିଜେନର (ଅମ୍ଳଜାନ) କେନ୍ଦ୍ରର ଚାରିପଟେ ଯଥାକ୍ରମେ 6, 7 ଓ 8ଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଘୂରିବେ ଏବଂ ପ୍ରତ୍ୟେକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସରେ ସେହି ପରିମାଣରେ ଯୁକ୍ତ ଗୁର୍ଜ ରହିବ । ଏହି ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥଗୁଡ଼ିକ ପିରିଅଡ଼ିକ୍ ଟେବୁଲରେ ଯଥାକ୍ରମେ 6, 7ମ ଓ 8ମ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ ! ତେଣୁ ସରଳଭାବରେ ସିଦ୍ଧାନ୍ତ କରାଯାଇପାରିବ ଯେ ହାଇଡ୍ରୋଜେନକୁ (ଉଦ୍‌ଜାନ) ଏକ ବୋଲି ଗଣି ଅନ୍ୟ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥଗୁଡ଼ିକ କ୍ରମରେ ସଂଖ୍ୟା କରିଗଲେ, ଯେଉଁ ପଦାର୍ଥର ଯେଉଁ ସଂଖ୍ୟା ହେବ, ସେ ପଦାର୍ଥର ପରମାଣୁର ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ୍‌ରେ ସେତିକିଟି ମୌଳିକ ଯୁକ୍ତ ଗୁର୍ଜ ବା ସେ ପଦାର୍ଥର ପରମାଣୁରେ ସେତିକିଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ରହିଥିବ । ଏହିପରି ଗୋଟିଏ ମୌଳିକ

ପଦାର୍ଥର ପାରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଧାରଣା ଜନ୍ମିଲା । ଆମେ ଏହାକୁ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ଭାବରେ ବର୍ଣ୍ଣନା କରି ପାରିବା, ଯଥା—(୧) ହାଇଡ୍ରୋଜେନର Z=1 ବୋଲି ଧରି ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥଗୁଡ଼ିକ କ୍ରମିକ ସଂଖ୍ୟା କରିଗଲେ, ସେହି ସଂଖ୍ୟା ବା (୨) ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଋଣ ପରିମାଣକୁ ଅର୍ଥାତ୍ eକୁ ଏକକ ଧରିଲେ ପରମାଣୁର ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ୍‌ରେ ଥିବା ଯୁକ୍ତ ଋଣ ପରିମାଣ ବା (୩) ସୁଷମ ପରମାଣୁରେ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ୍ ଚାରିପଟେ ଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ।

ରୁଥରଫୋର୍ଡ଼, ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ପ୍ରକାରର ପରମାଣୁର କଳ୍ପନା କରି ଯେଉଁ ସିଦ୍ଧାନ୍ତମାନଙ୍କରେ ପହଞ୍ଚିଥିଲେ, ଗାଇଗର ଓ ମାର୍ସଡେନଙ୍କ ପରୀକ୍ଷା ତାହା ଏପରି ଭାବରେ ପ୍ରତିଷ୍ଠା କଲା ଯେ, କେତେକ ଓଜନଦାର ପ୍ରତିଯୁକ୍ତି ଥିଲେ ମଧ୍ୟ ଏହା କଳ୍ପନା ସଙ୍ଗେସଙ୍ଗେ ଗୃହୀତ ହୋଇଥିଲା ।

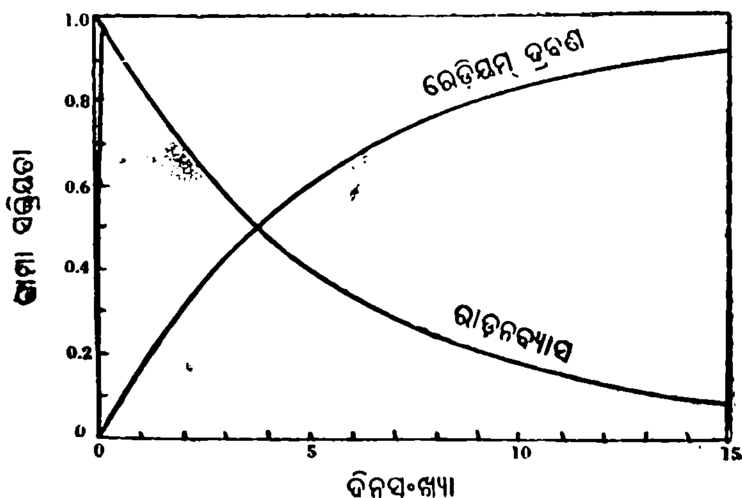
(ଘ) କେତେକ ଅସୁବିଧା :

ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ୍ ପ୍ରକାରର ପରମାଣୁ ବିରୁଦ୍ଧରେ ପ୍ରତିଯୁକ୍ତିର ମୂଳକଥା ହେଲା— ସ୍ଥାୟିତ୍ୱ । ଯୁକ୍ତ ଓ ବିଯୁକ୍ତ ଋଣର ବିନ୍ଦୁମାନଙ୍କ ସ୍ଥିର ଥିବାର ଅନୁମାନ କରି କୌଣସି ସଜ୍ଜା ଉଦ୍ଭାବନ କରାଯାଇପାରିବ ନାହିଁ; କାର୍ଯ୍ୟତଃ ଏପରି ଏକ ସଜ୍ଜା ଯେ ଅସମ୍ଭବ, ତାହା ପ୍ରମାଣ କରିହେବ (ଅର୍ଣ୍ଣସଙ୍କ ପ୍ରମେୟ) । ପୃଥିବୀ ଯେପରି ସୂର୍ଯ୍ୟର ଚାରିପଟେ ଘୂରୁଛି, ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସେହିପରି ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ୍‌ର ଚାରିପଟେ ଘୂରିପାରେ; କିନ୍ତୁ ପୁରାତନ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ଏଥିରୁ ଶକ୍ତି ବିକିରିତ ହେବ । ତେଣୁ ଏହି ପରମାଣୁଟି କ୍ରମେ ଶକ୍ତି ହରାଇବ"; ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ଗୋଟିଏ ସର୍ପିଳ ପଥରେ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ନିକଟକୁ ଆଗେଇଯିବ ଏବଂ ଏହି ପ୍ରଣାଳୀରେ କ୍ରମେ ଧାରାବାହିକ ଭାବରେ ବଢ଼ୁଥିବା ଆବୃତ୍ତିରେ ଶକ୍ତି ବିକିରଣ ହେବ ।

ଏହିଠାରେ ବୋର ତାଙ୍କର ପରମାଣୁ ଗଠନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ବିଶ୍ୱବିଖ୍ୟାତ ତତ୍ତ୍ୱ ଦେଇଥିଲେ । ଏଥିରୁ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର ମୂଳକାରଣ ଜଣାପଡ଼ିଲା, ଏହା ୯ମ ଅଧ୍ୟାୟରେ ବର୍ଣ୍ଣିତ ହେବ । ତାଙ୍କର ତତ୍ତ୍ୱ ପ୍ଲାଙ୍କଙ୍କର କ୍ୱାଣ୍ଟମ ତତ୍ତ୍ୱର ରୁଥରଫୋର୍ଡ଼ଙ୍କର ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ପରମାଣୁ ପ୍ରତି ପ୍ରୟୋଗ । ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ମଡ଼େଲର ଅସୁବିଧା ଦୂର କରିବାପାଇଁ ଓ ପାରମାଣବିକ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମକୁ ବୁଝାଇବାପାଇଁ ସେ ଏହା କରିଥିଲେ ।

8.6 ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ରୂପାନ୍ତରଣ :

1903 ମସିହାରେ ରୁଥରଫୋର୍ଡ଼ ଓ ସଡ଼ି ସେମାନଙ୍କର ଅନୁମାନ ପ୍ରକାଶ କରିଥିଲେ ଯେ, ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ବଂଶବୃକ୍ଷ ସମ୍ବନ୍ଧ ରହିଛି । ସେମାନେ ରାସାୟନିକଭାବେ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ହୋଇଥିବା ବସ୍ତୁମାନଙ୍କର ଉଦ୍ଭବ ଓ ନାଶରୁ ଏହି ସିଦ୍ଧାନ୍ତରେ ପହଞ୍ଚିଥିଲେ । ରେଡ଼ିୟମ ୪ ରଶ୍ମି ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଆଲୋଚନା କରିବା ଏହି ପ୍ରଣାଳୀର ଗୋଟିଏ ଉଦାହରଣ । ରେଡ଼ିୟମ ଦ୍ରବଣ ଧାରାବାହିକ ଭାବରେ ରାଡ଼ନ ଗ୍ୟାସ ନିଷ୍କାସନ କରିଥାଏ । ଗୋଟିଏ ମୃଦାପାତ୍ରରୁ ଯଦି ରାଡ଼ନ ଗ୍ୟାସ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣଭାବେ ପମ୍ପଦ୍ୱାରା ବାହାର କରି ନିଆଯାଏ, ଦେଖାଯାଏ ଯେ ଅଳ୍ପ ସମୟ ପରେ ଗ୍ୟାସ ସମସ୍ତ ସକ୍ରିୟତା



[ଚିତ୍ର ୮·୫ ଗାମାରଶ୍ମି ଉଦ୍‌ଭବ ଓ ନାଶ (a) ରେଡ଼ିୟମ ଦ୍ରବଣରୁ ସମସ୍ତ ରାଡ଼ନ ପମ୍ପ କରି ବାହାର କରିନେବା ପରେ ଗାମାରଶ୍ମି ସକ୍ରିୟତା (b) ରାଡ଼ନ ଗ୍ୟାସର ଗାମାରଶ୍ମି ସକ୍ରିୟତା (Po^{218} ଓ Pb^{214}ର କ୍ରମୋଦ୍ଭବ ଫଳରେ ପ୍ରାଥମିକ ବୃଦ୍ଧି ସମ୍ଭବ ହୋଇଛି, ଏହା ଚିତ୍ରରେ ବଢ଼ାଇ ଦେଖାଯାଇଛି । Bi^{214}ରୁ ଗାମାରଶ୍ମି ବାହାରେ]

ପ୍ରକାଶ କରେ (α ଓ β ସଂଯୋଜକ ପୂର୍ବ ଭାବରେ ଶୋଷଣ କରି ମାପ କଲେ) ଏବଂ ଦ୍ରବଣର କୌଣସି ସକ୍ରିୟତା ରହେନାହିଁ । ଯଦି ଗଚ୍ଛିତ ଓ ରେଡ଼ିୟମ ଥିବା ପାତ୍ର ଦୁଇଟିକୁ ସେହିପରି ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର କରି କେତେକ ସପ୍ତାହ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ରଖି ଦିଆଯାଏ, ଦେଖାଯିବ ଯେ, ପରୋକ୍ତଟି ପୁଣି ଗାମା ସକ୍ରିୟ ହୋଇଯିବ ଏବଂ ପ୍ରଥମୋକ୍ତଟି ହେବନାହିଁ । ଦୁଇ ସାମ୍ପଲର ଗାମାରଶ୍ମି ସକ୍ରିୟତାକୁ ସମୟର ଫଳନ ହିସାବରେ ପୁଙ୍ଖାନୁପୁଙ୍ଖ ଭାବରେ ମାପ କଲେ ଚିତ୍ର ୮.୫ରେ ମିଳିବ । ଏଥିରୁ ଦେଖାଯିବ ଯେ ପ୍ରାଥମିକ ଢଖ ବୃଦ୍ଧି ଗୁଡ଼ି-ଦେଲେ, ଗଚ୍ଛିତର ସକ୍ରିୟତା ଚରଘାତାଙ୍କରେ କମିଯିବ ଏବଂ ପ୍ରାୟ 3·8 ଦିନରେ ଅର୍ଦ୍ଧ-ମୂଲ୍ୟରେ ପହଞ୍ଚିଯିବ । ରେଡ଼ିୟମ ଦ୍ରବଣର ଗାମାରଶ୍ମି ସକ୍ରିୟତା ଚରଘାତାଙ୍କ ଭାବରେ ବଢ଼ିବ ଓ ଅର୍ଦ୍ଧ ମୂଲ୍ୟରେ 3·8ଦିନରେ ପହଞ୍ଚିବ । ଏହି ଦୁଇ ରେଖାର ଯୋଗଫଳ ସବୁବେଳେ ଧ୍ରୁବ ରହିଥିବ । ସକ୍ରିୟତାର ଦୁଇଟି ରେଖା ପରିପୂରକ ଭାବରେ ଦୁଇଟି ବିଭିନ୍ନ ବସ୍ତୁ ସହିତ ସଂଶ୍ଳିଷ୍ଟ ହୋଇ ମଧ୍ୟ ଏପରି ଘନିଷ୍ଠ ଭାବରେ ସଂପୃକ୍ତ ହେଉଥିବାରୁ ଅନୁମାନ କରାଯାଇ ପାରିବ ଯେ, ଏଥିରୁ ଗୋଟିଏ (R_n) ଅନ୍ୟଟିର ସ୍ୱାଭାବିକ ରୂପାନ୍ତରଣ ଦ୍ୱାରା ଉତ୍ପନ୍ନ ହେଉଅଛି । ପ୍ରକୃତରେ ଏହାହିଁ ହେଉଛି । [ପ୍ରକୃତରେ ଗାମା ରଶ୍ମି ଏଠାରେ ସିଧାସଳଖ ରାଡ଼ନରୁ ଆସେନାହିଁ, *RaC* (Bi^{214})ରୁ ଆସିଥାଏ । ଶୀଘ୍ର ଦୁଇଗୋଟି କ୍ରମିକ ବିଘଟନ ଫଳରେ *RaC* (Bi^{214}) ଜନ୍ମିଥାଏ । ଏହି ରୂପାନ୍ତରଣରେ ଯାହାର ଜୀବନ-କାଳ ସର୍ବାଧିକ, ତା'ର ଅର୍ଦ୍ଧଜୀବନ ପରିମାଣ 26·8 ମିନିଟ । ତେଣୁ ଚିତ୍ର ୮·୫ରେ ଉଦ୍ଭବ ଓ ନାଶ ରେଖାଗୁଡ଼ିକରେ ଏହି ପରିମାଣର ତୀକ୍ଷ୍ଣ ପ୍ରଭାବ ଦେଖାଯାଇଥାଏ) ।

(କ) ସ୍ୱାଭାବିକ ରୂପାନ୍ତରଣର ତତ୍ତ୍ୱ :

ଏହି ରୂପାନ୍ତରଣ ତତ୍ତ୍ୱର ପ୍ରଧାନ କଥା ହେଲା ଗୋଟିଏ ଅନୁମାନ । ଏହି ଅନୁମାନ ଅନୁସାରେ, ପ୍ରତ୍ୟେକ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଗୋଟିଏ ଦତ୍ତ ସମୟ ମଧ୍ୟରେ ବିଘଟିତ ହେବାର ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ସମ୍ଭାବନା ଅଛି; ଏହି ସମ୍ଭାବନା ନିଉକ୍ଲିୟସର ପ୍ରକାର ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ, ମାତ୍ର ଗୋଟିଏ ଦତ୍ତ ପ୍ରକାରର ପ୍ରତ୍ୟେକ ନିଉକ୍ଲିୟସ ପାଇଁ ଏହା ସମାନ (ଧ୍ରୁବ) । ଯଦି ଆମର ଏହିପରି Nଟି ନିଉକ୍ଲିୟସ ଥାଏ, dt ସମୟ ମଧ୍ୟରେ ବିଘଟିତ ହେଉଥିବା ସଂଖ୍ୟା $dN = -N\lambda\, dt$ । ଏଠାରେ λ ହେଲା ବିଘଟନ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ ଏବଂ N ଯେ ସମୟ ଅନୁସାରେ କମି କମି ଯାଉଛି, ତାହା ବିଯୁକ୍ତ ଚିହ୍ନ ଦ୍ୱାରା ସୂଚିତ ହେଉଛି । ଏକକ

ସମୟରେ ନାଶ ହେଉଥିବା ପରମାଣୁର ସଂଖ୍ୟା $-\frac{dN}{dt}$କୁ ସାମ୍ପଲର ସକ୍ରିୟତା ବା ବିଘଟନ ହାର କୁହାଯାଏ । ଯଦି ସାମ୍ପଲଟିକୁ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର କରି ଦିଆଯାଏ ଓ ଫଳରେ କୌଣସି ନୂଆ ପରମାଣୁ ଏଥିସଙ୍ଗେ ମିଶେନାହିଁ,

$$-\frac{dN}{dt}=\lambda N \qquad (୮·୨କ)$$

ଏବଂ

$$N(t)=N(0)\,e^{-\lambda t} \qquad (୮·୨ଖ)$$

ହୁଏ । ଏଠାରେ $N(o)$ ହେଲା $t=0$ ସମୟରେ ଉପସ୍ଥିତ ଥିବା ସଂଖ୍ୟା । ଯେଉଁସମୟରେ ଉପସ୍ଥିତ ଥିବା ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ଅର୍ଦ୍ଧେକ ବିଘଟନ ଘଟିବ ଅର୍ଥାତ୍ ଅର୍ଦ୍ଧ-ଜୀବନ $t_{\frac{1}{2}}$ ନିମ୍ନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ପ୍ରକାଶ କରଯାଇ ପାରିବ ।

$$\frac{N(t_{\frac{1}{2}})}{N(0)}=\frac{1}{2}=e^{-\lambda t_{\frac{1}{2}}}\quad t_{\frac{1}{2}}=\frac{In2}{\lambda}=\frac{0{\cdot}693}{\lambda}$$

ହାରାହାରି ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁ ପାଇଁ ଗଡ଼ ଜୀବନ ବା ସାମ୍ଭାବ୍ୟ ଜୀବନ

$$t_m=\frac{\int_0^\infty t\,e^{-\lambda t}\,dt}{\int_0^\infty e^{-\lambda t}\,dt}=\frac{1}{\lambda} \qquad (୮·୩)$$

ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହେବ । ଗୋଟିଏ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ରେଡ଼ନ ସାମ୍ପଲରେ ଆରମ୍ଭରୁ ଏକ ଦଶ ସଂଖ୍ୟକ ପରମାଣୁ ଥିଲେ ଏହାର କାର୍ଯ୍ୟକାରିତା ସରଳ ଭାବରେ କେବଳ ନାଶ ପ୍ରକ୍ରିୟା ସାହାଯ୍ୟରେ ବର୍ଣ୍ଣନା କରାଯାଇ ପାରିବ; ଏହାର ବିଘଟନ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ $\lambda(Rn)=0{\cdot}693/t_{\frac{1}{2}}$ $=0{\cdot}21\times10^{-5}$ ସେ.$^{-1}$

ବର୍ତ୍ତମାନ ଯଦି ପାତ୍ରଟିରେ ରେଡ଼ିୟମରୁ ରେଡ଼ନ ଉତ୍ପନ୍ନ ହେବା ବିଚାର କରାଯାଏ, ଆମକୁ ଗୋଟିଏ ଭିନ୍ନ ଅବସ୍ଥା ବିଚାର କରିବାକୁ ହେବ । ସମୟ dt ମଧ୍ୟରେ ବିଘଟିତ

ରେଡ଼ିୟମ ପରମାଣୁ ସଂଖ୍ୟା $dN_1 = -\lambda_1 N_1 dt$; ଏଠାରେ ରେଡ଼ିୟମ ପାଇଁ ବିଘଟନ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ λ_1 । ଏହି ପ୍ରତ୍ୟେକ ବିଘଟନ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ରାଡ଼ନ ପରମାଣୁ ଉତ୍ପାଦନ କରେ ଏବଂ ଏହି ସମୟ ମଧ୍ୟରେ $\lambda_2 N_2 dt$ ସଂଖ୍ୟକ ରାଡ଼ନ ପରମାଣୁ ବିଘଟିତ ହୁଏ (ନିମ୍ନଲେଖା 2 ରାଡ଼ନ ପାଇଁ ବୋଲି ବୁଝାଉଛି) । ତେଣୁ ରାଡ଼ନ ପରମାଣୁରେ ମୋଟ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହେଲା

$$dN_2 = +\lambda_1 N_1\, dt - \lambda_2 N_2 dt = [[\lambda_1 N_1(o) e^{-\lambda_1 t} - \lambda_2 N_2] dt.$$

ଯଦି $t=o$ ସମୟରେ କୌଣସି ରାଡ଼ନ ପରମାଣୁ ଉପସ୍ଥିତ ନଥାଏ, ଏହି ସମୀକରଣର ସମାକଳ ହେବ,

$$N_2(t) = N_1(o) \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 t} - e^{-\lambda_2 t}) \qquad (୮.୪)$$

ଏବଂ ସକ୍ରିୟତାର ଅନୁପାତ ହେବ

$$\frac{\lambda_2 N_2\ (t)}{\lambda_1 N_1\ (t)} = \frac{\lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} (1 - e^{-(\lambda_2 - \lambda_1) t} \qquad (୮.୫)$$

ଏହି ଘଟଣାରେ ଜନକ ରେଡ଼ିୟମର ଅର୍ଦ୍ଧଜୀବନ ବହୁତ ଦୀର୍ଘ (1622 ବର୍ଷ) ଏବଂ ସେହି କାରଣରୁ ଆମେ λ_2 ତୁଳନାରେ λ_1କୁ ଅବହେଳା କରିପାରୁ । ତେଣୁ ଆମେ ପାଇବା,

$$N_2(t = N_1(o) \frac{\lambda_1}{\lambda_2} (1 - e^{-\lambda_2 t}) \qquad (୮.୫କ)$$

ଏହି ସମ୍ବନ୍ଧରୁ ଆମେ ଦେଖିପାରିବା ଯେ ରେଡ଼ିୟମରୁ ରାଡ଼ନର ଉତ୍ପାଦନ ଯେଉଁ ସମୟ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିବ, ତାହା ରାଡ଼ନର ନାଶ ଘଟଣା ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ; ତାହା ଚିତ୍ର ୮.୫ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି ।

ଯେତେବେଳେ $\lambda_2 > \lambda_1$ (ଯେପରି ଏଠାରେ ହୋଇଛି), ସମୀକରଣ (୮.୫)ର ଏକ୍ସପୋନେସିଆଲ୍ ହ୍ରସ୍ୱ ହେବାବେଳେ ଅପାତ ସ୍ଥାୟୀ ସାମ୍ୟାବସ୍ଥା ଲଭ ହୋଇଥାଏ । $\frac{1}{(\lambda_2 - \lambda_1)}$ ତୁଳନାରେ ଦୀର୍ଘ ସମୟ ପରେ ଜନ୍ମିତ ନଭକ୍ଲିୟସ ଜନକ ନଭକ୍ଲିୟସ ସହିତ

ସମ ଅବସ୍ଥାରେ ଥିଲେ, $N_2 = \frac{N_1\lambda_1}{\lambda_2}$ ଧ୍ରୁବ ମୂଲ୍ୟର ନିକଟତର ହେବ । ତେଣୁ

$$N_2\lambda_2 = N_1\lambda_1 \qquad (୮·୭)$$

ଯେକୌଣସି ଜନିତ ନିଉକ୍ଲିୟସ୍‌ର ଅର୍ଦ୍ଧଜୀବନ ତୁଳନାରେ ଯଦି ମଣ୍ଡଳଟି ବିଶୃଙ୍ଖଳିତ ନହୋଇ ଅଧିକ ସମୟ ରହେ, ତେବେ ଉକ୍ତ ସମ୍ବନ୍ଧ ଯେକୌଣସି ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ପଂକ୍ତି ପାଇଁ ଲାଗୁ ହେବ । ଏହି ସମ୍ବନ୍ଧରୁ ଜଣାଯାଉଛି ଯେ, କୌଣସି ଜନିତ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ବସ୍ତୁର ବିନାଶ ହାର, ସେହି ପଂକ୍ତିରେ ତାର ପୂର୍ବ ବସ୍ତୁରୁ ସେହି ବସ୍ତୁର ଉତ୍ପାଦନ ହାର ସହିତ ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ସମାନ ହେବ । ଗୋଟିଏ ମଣ୍ଡଳ ଏହି ଅବସ୍ଥାରେ ପହଞ୍ଚିଥିଲେ, ତାହା ଦୀର୍ଘସ୍ଥାୟୀ ସାମ୍ୟ ଅବସ୍ଥାରେ ପହଞ୍ଚିଛି ବୋଲି କୁହାଯାଏ । ରୁଥରଫୋର୍ଡ଼ ଓ ସଡ଼ିଙ୍କର ପର୍ଯ୍ୟାଲୋଚନାରୁ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ପଂକ୍ତିମାନଙ୍କ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଯେଉଁ ତଥ୍ୟ ମିଳିଲା, ତାହା ଏଠାରେ ଦିଆଗଲା । ଗୋଟିଏ α-କଣିକା ବିକିରଣ କରି ଗୋଟିଏ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ପରମାଣୁ ବିଘଟିତ ହେଲେ, ତାର ରାସାୟନିକ ଗୁଣ ବଦଳିଯିବ ଓ ବସ୍ତୁତ୍ୱରୁ ଚାରି ଏକକ କମିଯିବ । ଜନିତ ବସ୍ତୁ ପୁଣି α ବା β ବିକିରଣ ଦ୍ୱାରା ବିଘଟିତ ହେବ ଓ ପ୍ରତ୍ୟେକ ପ୍ରଣାଳୀରେ ଗୋଟିଏ ନୂତନ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ ତିଆରି ହେବ । ଶେଷରେ ଗୋଟିଏ ସ୍ଥାୟୀ ବସ୍ତୁ ତିଆରି ହୋଇଗଲେ ପଂକ୍ତିଟି ଶେଷ ହେବ । ଅନୁଧ୍ୟାନ ପରେ ଗୋଟିଏ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥର ରାସାୟନିକ ଗୁଣ ସ୍ଥିର କରିବାରେ ନିଉକ୍ଲିୟସର ଚାର୍ଜ ପରିମାଣର ପ୍ରଭାବ ଅନୁଭୂତ ହୋଇଥିଲା । ଗୋଟିଏ α-ବିକିରଣ ଦ୍ୱାରା ଦୁଇ ଏକକ ଚାର୍ଜ ଓ ଚାରି ଏକକ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବିକଶିତ ହୁଏ ବୋଲି ଏହାପରେ ମୀମାଂସିତ ହେଲା । ଏହାଦ୍ୱାରା ପିରିଅଡ଼ିକ୍ ଟେବୁଲରେ ଦୁଇଟି ସ୍ଥାନ ପଛକୁ ଥିବା ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ ଗଠିତ ହୋଇଥାଏ । β ବିକିରଣରେ ଏକ ଏକକ ବିଯୁକ୍ତ ଚାର୍ଜ ବିକଶିତ ହୁଏ ଓ ପ୍ରାୟ କୌଣସି ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବିକଶିତ ହୁଏନାହିଁ; ଫଳରେ ପିରିଅଡ଼ିକ୍ ଟେବୁଲର ଏକ ସ୍ଥାନ ଆଗକୁ ଥିବା ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ ଗଠିତ ହୋଇଥାଏ । ବିଭିନ୍ନ ଉତ୍ପନ୍ନ ବସ୍ତୁର ରାସାୟନିକ ଗୁଣ ପରୀକ୍ଷା କରି ଏହି ତଥ୍ୟର ସତ୍ୟତା ପ୍ରତିପାଦିତ ହେଲା । ସାଧାରଣତଃ ଯେଉଁ ପ୍ରଣାଳୀମାନଙ୍କରେ ବିଶ୍ଳେଷଣ କରାଯାଇଥାଏ, ସେହି ପ୍ରଣାଳୀମାନଙ୍କରେ ବିଶ୍ଳେଷଣ କରିବାପାଇଁ ବସ୍ତୁଗୁଡ଼ିକ ମୋଟାମୋଟି ଦୁଇମିନିଟ ପାଇଁ ମାତ୍ର ମିଳିଥାନ୍ତି; କିନ୍ତୁ ସେଗୁଡ଼ିକ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ହୋଇଥିବାରୁ ବିକିରଣ ଫଳରେ ବସ୍ତୁଗୁଡ଼ିକ ସାଧାରଣ ରାସାୟନିକ ପ୍ରଣାଳୀରେ ବିଶ୍ଳେଷିତ ହେବା ଓ ସେଗୁଡ଼ିକ

ଚିହ୍ନଟ କରିବା ସମ୍ଭବ ହୋଇଥାଏ । ତେଣୁ 1903 ମସିହାରେ ରୁଥରଫୋର୍ଡ଼ ଓ ସଡ଼ି ମାତ୍ର ଏକ ମାଇକ୍ରୋଗ୍ରାମରୁ କମ ପରିମାଣର ସାମ୍ପଲ ନେଇ ରାଡ଼ନ ଗ୍ୟାସର ରାସାୟନିକ ଓ ଭୌତିକ ଗୁଣସବୁ ସ୍ଥିର କରି ପାରିଥିଲେ; ଏପରି କି ତା'ର ତରଳାଙ୍କ ସ୍ଥିର କରି ପାରିଥିଲେ ।

(ଖ) ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ଆଇସୋଟୋପ୍ :

ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ରୂପାନ୍ତରଣର ଅଧିକ ଅନୁସନ୍ଧାନ ଫଳରେ ଏହିପରି ବହୁ ଧାରାବାହିକ ରୂପାନ୍ତରଣର ସନ୍ଧାନ ମିଳିଲା ଏବଂ ବହୁ ନୂତନ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ବସ୍ତୁର ଆବିଷ୍କାର ସମ୍ଭବ ହେଲା । ଏହି ଅନୁସନ୍ଧାନର ଏକ ପ୍ରଧାନ ଫଳ ହେଲା—ପ୍ରଥମଥର ପାଇଁ ଆଇସୋଟୋପର ଆବିଷ୍କାର, ଯେଉଁପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକର ପାରମାଣବିକ ଓଜନରେ ପ୍ରଭେଦ ଥାଇ ରାସାୟନିକ ଗୁଣ ଏକା ହୋଇଥାଏ, ସେଗୁଡ଼ିକୁ ଆଇସୋଟୋପ୍ କୁହାଯାଏ । ରେଡ଼ିୟମର ଉତ୍ସ ନିର୍ଦ୍ଧାରଣ କରିବାର ଚେଷ୍ଟାରୁ ଆକସ୍ମିକ ଭାବରେ ଏହି ଆଇସୋଟୋପ୍‌ର ଆବିଷ୍କାର ହୋଇଥିଲା । ରେଡ଼ିୟମ୍ ସର୍ବଦା ୟୁରାନିୟମ ଖଣିଜ ସହିତ ମିଳୁଥିବାରୁ ଏବଂ ଧରାର ଜୀବନକାଳ ତୁଳନାରେ ଏହାର ଅର୍ଦ୍ଧଜୀବନ ସ୍ୱଳ୍ପ ହୋଇଥିବାରୁ, ଏହା ଅନୁମାନ କରାଗଲା ଯେ ରେଡ଼ିୟମ ଅନ୍ୟ କୌଣସି ଅଧିକ ଅର୍ଦ୍ଧଜୀବନ ବିଶିଷ୍ଟ ବସ୍ତୁରୁ ଉତ୍ପନ୍ନ ହେଉଥିବ ଏବଂ ବୋଧହୁଏ ୟୁରାନିୟମ ସେହି ବସ୍ତୁ । ଏହି ପ୍ରକାର ସମ୍ବନ୍ଧ ବିଷୟରେ ଅନୁସନ୍ଧାନ କଲାବେଳେ 1906 ମସିହାରେ ବୋଲ୍ଟ ଉଡ୍ ୟୁରାନିୟମ ଓ ରେଡ଼ିୟମ ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ଦୀର୍ଘସ୍ଥାୟୀ ବସ୍ତୁର ଆବିଷ୍କାର କଲେ । ଏହି ବସ୍ତୁଟିର ନାମ ସେ ଦେଲେ ଆଇଓନିୟମ୍ ଓ ଏହା ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଆକର୍ଷଣୀୟ ବିଷୟ ହେଲା ଯେ, ଏହା ରାସାୟନିକ ଗୁଣରେ ଥୋରିୟମ ସହ ସମାନ । 1909ରେ ମାକ୍‌ଓ୍ୱାଲ୍ଡ ଓ କାଟ୍‌ମ୍ୟାନ ଏହି ବିଷୟଟିର ଅନୁସରଣ କଲେ ଏବଂ ପରେ ଭନ୍ ଓ୍ୱେଲବାକ୍ ମଧ୍ୟ ଏହି କାମ କରିଥିଲେ । ଏମାନେ ଦେଖିଲେ ଯେ ଆଇଓନିୟମ ଓ ଥୋରିୟମ୍ ରାସାୟନିକ ଗୁଣରେ ଏକବାରକେ ସମାନ ହେଲେ ମଧ୍ୟ ସେମାନଙ୍କର ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ଗୁଣ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଭିନ୍ନ । ବର୍ଷକ ମଧ୍ୟରେ ଏହିପରି ଅନ୍ୟାନ୍ୟ କେତେକ ଘଟଣା ଦେଖାଗଲା; ମୀମାଂସା ହେଲା ଯେ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ଗୁଣରେ ବିଭିନ୍ନତା ପାରମାଣବିକ ଓଜନରେ ବିଭିନ୍ନତା ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ । 1910 ମସିହାରେ ଏହି ଆବିଷ୍କାର ଗୁଡ଼ିକର ପ୍ରାଧାନ୍ୟ ସଡ଼ି ଦେଖାଇ ଦେଇଥିଲେ । ସେ ଦର୍ଶାଇଥିଲେ ଯେ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ

ବସ୍ତୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଏବଂ ତାଙ୍କ ଅନୁମାନ ଅନୁସାରେ ସ୍ଥାୟୀ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ବି—ବିଭିନ୍ନ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବିଶିଷ୍ଟ ଓ ଏକା ରାସାୟନିକ ଗୁଣ ବିଶିଷ୍ଟ ପରମାଣୁ ସବୁ ରହିଛନ୍ତି । ତେଣୁ ପାରମାଣିକ ଓଜନ ଯେ ସର୍ବଦା ପୂର୍ଣ୍ଣ ସଂଖ୍ୟା ହେଉନାହିଁ, ତାହା ବୁଝା ଯାଇ ପାରିଲା ଏବଂ ସବୁ ପରମାଣୁ ଯେ କୌଣସି ସାଧାରଣ ଉପାଦାନରେ ତିଆରି ହୋଇ ପାରିଥାନ୍ତି—ଏହି ପ୍ରଶ୍ନ ପୁଣି ଥରେ ମୁଣ୍ଡ ଟେକିଲା ।

ଡାଲଟନଙ୍କର ପାରମାଣବିକ କଳ୍ପନାର ସୂତ୍ରପାତ ହେବାର ପ୍ରାୟ 10 ବର୍ଷ ପରେ ଇଂରେଜ ରସାୟନବିତ୍ ପ୍ରାଉଟ୍ 1815 ମସିହାରେ କଳ୍ପନା କରିଥିଲେ ଯେ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥଗୁଡ଼ିକ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁମାନଙ୍କୁ ନେଇ ଗଠିତ; କାରଣ ସେ ଲକ୍ଷ୍ୟ କରିଥିଲେ ଯେ ଅନେକ ପାରମାଣବିକ ଓଜନ ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ପାରମାଣବିକ ଓଜନର ଗୁଣିତକ ପରି ମନେ ହେଉଥିଲେ; ମାତ୍ର ଅଧିକ ସୂକ୍ଷ୍ମ ପରିମାପ ଫଳରେ ଯେତେବେଳେ ଦେଖାଗଲା ଯେ ବହୁ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଏପରି ଗୁଣିତକ ସମ୍ବନ୍ଧରୁ ଚ୍ୟୁତ ଘଟୁଛି, ସେତେବେଳେ ଆଉ ପ୍ରାଉଟଙ୍କର କଳ୍ପନା ଗୃହୀତ ହେଲାନାହିଁ । ଶେଷରେ, ଯେତେବେଳେ କ୍ଲୋରିନ ପାଇଁ (୩୫·୫) ଏହି ବିଚ୍ୟୁତି ଅଧିକରେ ପରିଣତ ହୋଇଗଲା, ସେତେବେଳେ ଆଉ ଏ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଆଲୋଚନା କରିବାକୁ କେହି ଆଗେଇଲେ ନାହିଁ । ଆଇସୋଟୋପର ଆବିଷ୍କାର ଫଳରେ ସୁବିଧାଜନକ ଭାବରେ ବିଭିନ୍ନ ଆଇସୋଟୋପର ମିଶ୍ରଣ ହୋଇଥିବାର ଅନୁମାନ କରି ଏହି ବିଚ୍ୟୁତି ବୁଝାଇବା ସମ୍ଭବ ହେଲା । ତେଣୁ ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ପୁଣି କୌଣସି ମୌଳିକ ଉପାଦାନ ଥିବା କଥା ବିଚାର କରିବା ସମ୍ଭବ ହେଲା । ଆଇସୋଟୋପମାନଙ୍କର ବସ୍ତୁତ୍ୱଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରକୃତରେ ଗୋଟିଏ ସଂଖ୍ୟାର ମୋଟାମୋଟି ଗୁଣିତକ (ଯଦିଓ ଠିକ୍ ଭାବରେ ନୁହେଁ) । ବର୍ତ୍ତମାନ ଭଲଭାବରେ ଜଣାଗଲାଣି ଯେ ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ନିଉକ୍ଲିୟସ (ପରମାଣୁ ନୁହେଁ) ନିଉକ୍ଲିୟସ ଗଠନରେ ଏକ ଉପାଦାନ ।

ଆଧୁନିକ ଭାଷାରେ, ପ୍ରତ୍ୟେକ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ସ୍ୱର୍ଣ ସଂଖ୍ୟା Z ଦ୍ୱାରା ସୂଚିତ; ଏହା ପ୍ରୋଟନ ଚାର୍ଜର Z ତମ ଗୁଣିତକ ଏବଂ ପ୍ରତ୍ୟେକ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଏକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଂଖ୍ୟା A ଦ୍ୱାରା ମଧ୍ୟ ସୂଚିତ । କାର୍ବନ R2ର ବସ୍ତୁତ୍ୱକୁ ଠିକ୍ 12 ବୋଲି ହିସାବ କରି ସେହି ମାପକରେ ପ୍ରକାଶ କଲେ ଆଇସୋଟୋପର ପ୍ରକୃତ ବସ୍ତୁତ୍ୱର ନିକଟତମ ପୂର୍ଣ୍ଣ ସଂଖ୍ୟା ତା'ର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଂଖ୍ୟା ବୁଝାଏ । ସମ-ପରମାଣୁରେ ଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସଂଖ୍ୟା ନିଉକ୍ଲିୟସର

ସୃଷ୍ଟି ନିରୂପଣ କରିଥାଏ, ତେଣୁ ମୋଟାମୋଟି ପାରମାଣବିକ ଗୁଣ ସବୁ ଏହାଦ୍ୱାରା ସ୍ଥିରୀକୃତ ହୋଇଥାଏ । ମାତ୍ର ତା'ର ବିଶିଷ୍ଟ ଗୁଣ ସବୁ, ଯଥା—ତେଜସ୍କ୍ରିୟତା, A ଉପରେ ଯେପରି ନିର୍ଭର କରେ, Z ଉପରେ ମଧ୍ୟ ସେହିପରି ନିର୍ଭର କରିଥାଏ । ଗୋଟିଏ ଦତ୍ତ *Z A* ଦ୍ୱାରା ସୂଚିତ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସକୁ ନ୍ୟୁକ୍ଲାଇଡ୍ ବୋଲି କୁହାଯାଏ; ଯେଉଁ ନ୍ୟୁକ୍ଲାଇଡ୍ ମାନଙ୍କର Z ଏକା, ମାତ୍ର A ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ସେଗୁଡ଼ିକ ଆଇସୋଟୋପ ଏବଂ ଯେଉଁମାନଙ୍କର A ଏକା ଓ Z ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ସେମାନେ ଆଇସୋବାର । ସାଧାରଣ ପ୍ରଥା ଅନୁସାରେ ଗୋଟିଏ ନ୍ୟୁକ୍ଲାଇଡ୍‌କୁ $_{88}Ra^{226}$ ଆକାରରେ ଲେଖାଯାଏ; ଏଠାରେ ଅକ୍ଷରଟି ରାସାୟନିକ ନାମ ବୁଝାଏ; ନିମ୍ନଲେଖାଟି ପାରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା ଓ ଊର୍ଦ୍ଧ୍ୱଲେଖାଟି ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଂଖ୍ୟା ସୂଚାଇଥାଏ । ନିମ୍ନଲେଖାର ଆବଶ୍ୟକ ନଥିବାରୁ ଏହା ସାଧାରଣତଃ ଉହ୍ୟ ଥାଏ ।

(ଗ) ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ପଂକ୍ତି :

ଓଜନିଆ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଚାରିଗୋଟି ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ପଂକ୍ତି ରହିଅଛି (ଟେବୁଲ ୮·୧) । ଏଥିରୁ ପ୍ରଥମଟି U^{238}ରୁ ଆରମ୍ଭ ହୋଇ Pb^{206}ରେ ଶେଷ

ଟେବୁଲ ୮·୧

Thorium (4*n*) Series	Neptunium (4*n*+1) Series	Uranium (4*n*+2) Series	Actinium (4*n*+3) Series
${}_{92}U^{236}$ α$2.39\times10^{7}y$	${}_{93}Np^{237}$ α$2.25\times10^{6}y$	${}_{92}U^{238}$ α4.51×10^{7}y	${}_{94}Pu^{239}$ α24·300y
${}_{90}Th^{232}$ α$1.39\times10^{10}y$	${}_{91}Pa^{233}$ β27·4 d	${}_{90}Th^{234}$ β 24·5d	${}_{92}U^{235}$ α$7.07\times10^{8}y$
${}_{88}Ra^{228}$ β6·7 y	${}_{92}U^{233}$ α1.63×10^{5}y	${}_{91}Pa^{234}$ β 1·14m	${}_{90}Th^{231}$ β24·6 h
${}_{89}Ac^{228}$ β6·13 h	${}_{90}Th^{229}$ α700 y	${}_{92}U^{234}$ α2.33×10^{5}y	${}_{91}Pa^{231}$ α3.2×10^{4}y
${}_{90}Th^{228}$ α1·90 y	${}_{88}Ra^{225}$ β14·8d	${}_{90}Th^{230}$ α 8.3×10^{4}y	Ac^{227} α1·2% / 21 y β98·8%
${}_{88}Ra^{224}$ α3·64 d	${}_{89}Ac^{225}$ α10·0d	${}_{88}Ra^{226}$ α1622 y	Fr^{223} β 21m / Th^{227} α 18·9d
${}_{86}Rn^{220}$ α54·5 s	${}_{87}Fr^{221}$ α4·8m	${}_{86}Rn^{222}$ α3·825 d	${}_{88}Ra^{223}$ α 11·2 d
Po^{216} α99·99% / 158 s β0·013%	${}_{85}At^{217}$ α0·020 s	Po^{218} α99·97% / 3.05 m β0·03%	${}_{86}Rn^{219}$ α 3·92 s
Pb^{212} β10·6h / At^{216} α300μs	Bi^{213} α2% / 47 m β98%	Pb^{214} β26·8m / At^{218} α1·3s	Po^{215} α100-% / 1330μs β5×10^{-4}%
Bi^{212} α33·7% / 60·5m β66·3%	Tl^{209} β2·2m / Po^{213} α4·2μs	Bi^{214} α0·04% / 19·7m β99·96%	Pb^{211} β36·1m / At^{215} α10μs
Tl^{208} β 3·1 m / Po^{212} α0·3μs	${}_{82}Pb^{209}$ β 3·3h	Tl^{210} β1·32m / Po^{214} α150μs	Bi^{211} α99·68% / 2·16 m β0·32 %
${}_{82}Pb^{208}$ Stable	${}_{83}Bi^{209}$ stable	${}_{82}Pb^{210}$ β22 y	Tl^{207} β4·76 m / Po^{211} α5000μs
		Bi^{210} α5×10^{-5}% / 5·0d β 100-%	${}_{82}Pb^{207}$ Stable
		Tl^{206} β4·23m / Po^{210} α140d	
		${}_{82}Pb^{206}$ Stable	

ହୋଇଅଛି । ପ୍ରତି α-ବିଘଟନରେ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଂଖ୍ୟାରେ ଚାରିଏକକ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୋଇଥାଏ । ଫଳତଃ ଥୋରିୟମ ଶ୍ରେଣୀର ପ୍ରତ୍ୟେକ ବସ୍ତୁର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଂଖ୍ୟା $A=4n+2$, ଏଠାରେ n ଗୋଟିଏ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା । ଶେଷରେ ଆଲୋଚିତ ହୋଇଥିଲା ନେପ୍‌ଚ୍ୟୁନିୟମ $(4n+1)$ ଶ୍ରେଣୀ । ଏହି ଶ୍ରେଣୀର ବିଭିନ୍ନ ବସ୍ତୁମାନଙ୍କର ଅର୍ଦ୍ଧଜୀବନ ଏତେ କମ୍ ଯେ ଏମାନେ ପ୍ରକୃତିରେ ଅଳ୍ପ ପରିମାଣରେ ଦେଖାଯାନ୍ତି । ଫଳତଃ ସେଗୁଡ଼ିକୁ କୃତ୍ରିମ ଉପାୟରେ ଉତ୍ପାଦନ କରିବାକୁ ହୋଇଥାଏ । ଯଦି କୌଣସି ଖଣିଜରୁ ବିଭିନ୍ନ ବସ୍ତୁକୁ ରାସାୟନିକ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର କରି ନଯାଇଥାଏ, ତେବେ ସେଥିରେ ଦତ୍ତ ଶ୍ରେଣୀର ବସ୍ତୁଗୁଡ଼ିକ ସାମ୍ୟ ଅବସ୍ଥାରେ ରହିଥାଏ । ସେଥିରେ କୌଣସି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ବସ୍ତୁର ପରମାଣୁ ସଂଖ୍ୟା ତାର ଅର୍ଦ୍ଧଜୀବନକୁ ଅନୁପାତୀ ହୋଇଥାଏ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, U^{238}ର ପ୍ରତି କିଲୋଗ୍ରାମ ଖଣିଜରେ Ra^{226}ର ପରିମାଣ ହେଲା,

$$\frac{1622\times 226}{4{\cdot}5\times 10^{9}\times 238}=3{\cdot}4\times 10^{-7}\,kg.$$

ଖଣିଜରୁ ରାସାୟନିକ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ରେଡ଼ିୟମକୁ ୟୁରାନିୟମ ଓ ଶ୍ରେଣୀର ଅନ୍ୟ ସମସ୍ତ ବସ୍ତୁରୁ ଅଲଗା କରି ଦେଇହେବ । ଏହି ପ୍ରଣାଳୀରେ ଦୀର୍ଘସ୍ଥାୟୀ ସାମ୍ୟ ଅବସ୍ଥା ନଷ୍ଟ ହୋଇଯିବ । କେତେକ ଦିନ ମଧ୍ୟରେ ଏହାର ନିକଟତମ ପର ବସ୍ତୁଟି ପୁଣି ତିଆରି ହୋଇଯିବ ଏବଂ ଏହା ସହିତ Po^{218}, Pb^{214}, Bi^{214}, Po^{214} ସ୍ୱଳ୍ପ ଜୀବନ ବିଶିଷ୍ଟ ବସ୍ତୁ ସବୁ ମଧ୍ୟ ତିଆରି ହୋଇଯିବ । Pb^{210}ର ଅର୍ଦ୍ଧଜୀବନ 22ବର୍ଷ ହୋଇଥିବାରୁ କେବଳ ପୁରୁଣା ରେଡ଼ିୟମ ସାମ୍ପଲମାନଙ୍କରେ ସାମ୍ୟଅବସ୍ଥାରେ Pb^{210}, Bi^{210} ଓ Po^{210} ମିଳିପାରିବ ।

(ଘ) ରେଡିୟମର ଅର୍ଦ୍ଧଜୀବନ :

ରେଡ଼ିୟମ ପରି ଦୀର୍ଘଜୀବନ ବିଶିଷ୍ଟ ବସ୍ତୁମାନଙ୍କର ଅର୍ଦ୍ଧଜୀବନ ସିଧାସଳଖ ଭାବରେ ନିରୂପଣ କରିବା କଷ୍ଟକର । ପ୍ରକୃତରେ ଏକ ଜଣାଥିବା Ra ପରମାଣୁ ସଂଖ୍ୟାରୁ ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ କେତୋଟି ବିଘଟିତ ହେଉଛନ୍ତି, ଗଣନା କରି ବିଘଟନ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଇଥାଏ । ରୁଥରଫୋର୍ଡ଼ ଓ ଗାଇଗରଙ୍କର ପ୍ରଥମାବସ୍ଥାର ପରୀକ୍ଷାମାନଙ୍କରେ ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରିମାଣର ରେଡ଼ିୟମରୁ ବାହାରୁଥିବା ରାଡ଼ନ ସହିତ ସମ ଅବସ୍ଥାରେ ଥିବା Po^{214}ରୁ ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ କେତୋଟି α-କଣିକା ବିକିରିତ ହେଉଥିଲେ, ଗଣନା

କରାଯାଉଥିଲା (ଏହି ସଂଖ୍ୟାରେ ଅନ୍ୟ ଜାତ ବସ୍ତୁମାନଙ୍କରୁ ବିକୀରିତ ∝ କଣିକାମାନଙ୍କର ଶକ୍ତି କମ୍ ଏବଂ ସେଗୁଡ଼ିକୁ ଶୋଷକ ଫଳକଦ୍ୱାରା କାଟି ଦେଇ ହେଉଥିଲା) । ପର ପରୀକ୍ଷା-ମାନଙ୍କରେ, ସଦ୍ୟ ପ୍ରସ୍ତୁତ କରାଯାଇଥିବା ରେଡ଼ିୟମକୁ ଓଜନ କରି ସେଥିରୁ ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ କେତୋଟି ∝ କଣିକା ବିକୀରିତ ହେଉଛି, ସିଧାସଳଖ ଭାବରେ ଗଣତି କରାଗଲା ଏବଂ ଏହି ସଂଖ୍ୟାକୁ, ବିନାଶ ଫଳରେ ଜାତ ବସ୍ତୁମାନଙ୍କର ପରିମାଣରେ ବୃଦ୍ଧି ପାଇଁ ସଂଶୋଧନ କରାଗଲା । ବିଘଟନ ସଂଖ୍ୟା $3{\cdot}608\pm0{\cdot}028\times10^{10}$ ∝ କଣିକା ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ ପ୍ରତି ଗ୍ରାମ୍ ପାଇଁ । ଏଥିରୁ

$$\lambda=\frac{3{\cdot}608\times10^{10}\times226{\cdot}096}{6{\cdot}0247\times10^{23}}$$

$$=1{\cdot}354\times10^{-11}\text{ ସେ.}^{-1}$$

ଓ $t_{\frac{1}{2}}=0{\cdot}693/\lambda=1622\pm13$ ବର୍ଷ ବୋଲି ମିଳିଲା । ତେଜସ୍କ୍ରିୟତାର ସ୍ୱୀକୃତ ଏକକ ହେଲା କ୍ୟୁରୀ, ଏହାକୁ ଆଗେ 1 ଗ୍ରାମ୍ ରେଡ଼ିୟମ ସଙ୍ଗେ ସାମ୍ୟଅବସ୍ଥାରେ ଥିବା ରାଡ଼ନ ପରିମାଣ ଅର୍ଥାତ୍ ତେଜସ୍କ୍ରିୟତା ବୋଲି ବୁଝାଯାଉଥିଲା । ଏହି ଏକକକୁ ଏବେ ଅନ୍ୟ ବସ୍ତୁମାନଙ୍କର ତେଜସ୍କ୍ରିୟତା ମାପ କରିବାରେ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଉଥିବାରୁ, କ୍ୟୁରୀର ସଂଜ୍ଞା ବଦଳି ଯାଇଅଛି; ଏହା ଏବେ ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ ଠିକ୍ $3{\cdot}7\times10^{10}$ଟି ବିଘଟନକୁ ବୁଝାଉଅଛି । ରୁଥରଫୋର୍ଡ ଏହାର ଅନ୍ୟ ଏକ ଏକକ । ଏହାର ଅର୍ଥାତ୍ ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ ଠିକ୍ 10^{6}ଟି ବିଘଟନ । ମାତ୍ର ଏହି ପର ଏକକଟି ବିଶେଷ ବ୍ୟବହୃତ ହୁଏନାହିଁ ।

(ଡ) ଖଣିଜମାନଙ୍କର ବୟସ ବା ଜୀବନକାଳ :

ଠିକ୍ ପୂର୍ବରୁ ବର୍ଣ୍ଣନା କରାଯାଇଥିବା ପ୍ରଣାଳୀରେ U^{238}ର ଅର୍ଦ୍ଧଜୀବନ $4{\cdot}51\times10^{9}$ ବର୍ଷ ବୋଲି ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଇଅଛି । ଏହା ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ଯେ U^{238} ଠାରେ ଅନ୍ୟ କୌଣସି ଅଧିକ ଜୀବନକାଳ ଥିବା ଖଣିଜରୁ ଜନ୍ମ ନୁହେ । ତେଣୁ ଏହି ବସ୍ତୁ ଓ ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ସବୁ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ ଏହାର ବେଶୀ ଗୁଣ ବର୍ଷ ଆଗରୁ ଜନ୍ମ ଲଭି ନଥିବେ । କେତେକ ପରସ୍ପର ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ପ୍ରଣାଳୀରେ ୟୁରାନିୟମ ଧାତୁ ବିଶିଷ୍ଟ ଖଣିଜ ପଦାର୍ଥର ଜୀବନକାଳ ସ୍ଥିର କରିବା ସମ୍ଭବ । ଏହି ପ୍ରଣାଳୀମାନଙ୍କରୁ ଗୋଟିଏ ଉଦାହରଣ ଦେବାପାଇଁ ଆମେ U^{238}ରୁ ଜନ୍ମି

ଥିବା ହିଲିୟମର ପରିମାଣ ସ୍ଥିର କରିବା । ଖଣିଜ ସୃଷ୍ଟି ହେବାଠାରୁ ପ୍ରତି U^{238} ପରମାଣୁ ଭାଙ୍ଗିଯିବା ଦ୍ୱାରା ଆଠଟି ହିଲିୟମ ପରମାଣୁ ଉତ୍ପନ୍ନ ହେଉଛନ୍ତି; ସେଗୁଡ଼ିକ ଖଣିଜ ମଧ୍ୟରେ ବାନ୍ଧି ହୋଇ ରହିଯାଇଛନ୍ତି ବୋଲି ଅନୁମାନ କରାଯାଉ । ଯଦି ପ୍ରଥମରୁ ଉପସ୍ଥିତ ଥିବା ପରମାଣୁର ସଂଖ୍ୟାକୁ N_0 ବୋଲି ଧରି ନିଆଯାଏ ଏବଂ ଏକ ସମୟ t ରେ N ସଂଖ୍ୟକ ପରମାଣୁ ରହେ, ଉତ୍ପନ୍ନ ହିଲିୟମ ପରମାଣୁ ସଂଖ୍ୟା ହେବ,

$$N(He) = 8(N_0 - N) = 8N(e^{\lambda t} - 1)$$

ଏଠାରେ λ ହେଲା U^{238}ର ବିଘଟନ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ । ହିଲିୟମ ଓ U^{238}ର ଅନୁପାତରୁ t ରେ ମୂଲ୍ୟ ସ୍ଥିର କରିହେବ । କାର୍ଯ୍ୟତଃ U^{235} ଓ Th^{232} ପରି ଅନ୍ୟ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ବସ୍ତୁ ଉପସ୍ଥିତ ଥାଇ ଉତ୍ପନ୍ନ କରୁଥିବା ହିଲିୟମ ପରିମାଣ ହିସାବକୁ ନେବାକୁ ହେବ । ଆଉ ମଧ୍ୟ ଯେଉଁ ଖଣିଜମାନଙ୍କର ଅଧିକ ପରିମାଣରେ ୟୁରାନିୟମ ରହିଅଛି, ସେଥିରେ ହିଲିୟମ ନଷ୍ଟ ହୋଇଯିବା ମଧ୍ୟ ଗୋଟିଏ ପ୍ରଧାନ ସମସ୍ୟା । ଅନ୍ୟ ପ୍ରଣାଳୀଗୁଡ଼ିକରେ ୟୁରାନିୟମ ବିଶିଷ୍ଟ ଖଣିଜମାନଙ୍କରୁ ସୀସାର ଆଇସୋଟୋପିକ୍ ଗଠନ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଏ । ସେଥିରେ ଏପ୍ରକାର ଅସୁବିଧା ବିଶେଷଭାବରେ ହୁଏନାହିଁ । ଏହି ପ୍ରକାରର ହିସାବରୁ ପୃଥିବୀର ବୟସ ଅର୍ଥାତ୍ ଏଥିରେ ଅତି ପୁରାତନ ଖଣିଜ ସୃଷ୍ଟି ହେବାପରେ କେତେବର୍ଷ ଅତିବାହିତ ହେଲାଣି, ସେ ସମୟ ହେଲା $4{\cdot}5 \times 10^9$ବର୍ଷ ।

ପରିଶିଷ୍ଟ ୮କ

ରୁଥରଫୋର୍ଡଙ୍କର ବିଚ୍ଛୁରଣ ନିୟମ

ଯଦିଓ ରୁଥରଫୋର୍ଡଙ୍କର ବିଚ୍ଛୁରଣ ତତ୍ତ୍ୱ ପ୍ରଥମେ α କଣିକାମାନଙ୍କ ପାଇଁ ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇଥିଲା, ସେହି ତତ୍ତ୍ୱ ପ୍ରୋଟନ୍, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପରି ଅନ୍ୟ ଚାର୍ଜ କଣିକାମାନଙ୍କର ଅନ୍ୟ ଚାର୍ଜ କେନ୍ଦ୍ରମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ସୃଷ୍ଟ ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକକ୍ଷେତ୍ରରେ ବିଚ୍ଛୁରଣ ଆଲୋଚନା କରିବା ପାଇଁ ବହୁଳ ଭାବରେ ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇଥିଲା । ନିମ୍ନରେ α କଣିକାମାନଙ୍କର ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ-ମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ବିଚ୍ଛୁରଣ ବର୍ଣ୍ଣନା କରାଯାଇଥିଲେ ମଧ୍ୟ ଯେଉଁ ସମୀକରଣଗୁଡ଼ିକ ସେଥିରେ

ମିଳିବ, ତାହା ଅନ୍ୟ କଣିକାମାନଙ୍କର କୁଲମ୍ବ ବିଚ୍ଛୁରଣ ଆଲୋଚନାରେ ଲାଗୁ ହେବ । ଆପତନ କଣିକାର ଚାର୍ଜ ze ଓ ବସ୍ତୁତ୍ୱ m ହେଉ, ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ଚାର୍ଜ Ze ଓ ଏହାର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଆପତନ କଣିକାର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ତୁଳନାରେ ଏତେ ବେଶୀ ହେଉ ଯେ ପ୍ରାଥମିକ ଆସନ୍ନ ପାଇଁ ଏହା ସ୍ଥିର ରହୁଛି ବୋଲି ଅନୁମାନ କରାଯାଉ । ∝ କଣିକାଟି v_0 ଗତିବେଗରେ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସଠାରୁ b ଦୂରତାରେ ଯାଉଥିବା ଗୋଟିଏ ପଥରେ ଆସୁଥିଲା ଅସୁ । ତେଣୁ ଏହାର ଶକ୍ତି $\frac{mv_0^2}{2}$ ଏବଂ O ଠାରେ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ଏହାର ପାଖେ କୌଣିକ ସଂବେଗ mvb ହେଉ । Oକୁ ମୂଳବିନ୍ଦୁ ନେଲେ ପୋଲାର ଅକ୍ଷ ପ୍ରଣାଳୀରେ ∝ କଣିକାର ଅକ୍ଷଦ୍ୱୟ r ଓ θ ହେଉ । ସୁଦୂରରୁ ଆସୁଥିବା କଣିକାର ଦିଗରେ O ଠାରୁ ଟଣାଯାଇଥିବା ରେଖାଠାରୁ θ କୋଣ ମପାଯାଇଅଛି । (ଚିତ୍ର । ୮୩) । $\dot{r}$ ଓ $\dot{\theta}$ ଯଥାକ୍ରମେ r ଓ θ ର ସମୟ ଭିତ୍ତିକ ଅବକଳନ ହେଉ ।

ତେଣୁ କଣିକାଟିର ଗତିବେଗ $\dot{r}$ ଓ $r\dot{\theta}$ ର ଅଭିଲମ୍ବ ସଂଯୋଜକ ସବୁ ଅଛି ଓ ଯେକୌଣସି ସମୟରେ O ପାଖେ ଏହାର କଣିକା ସଂବେଗ $mr^2\dot{\theta}$ । ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ବିକର୍ଷଣ ଫଳରେ ଏହାର ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ $zZe^2/4\pi\epsilon_0 r$ ଏବଂ ପ୍ରଥମରୁ ଏହାର ପରିମାଣ ଶୂନ୍ୟ । ତେଣୁ ଏଥିରେ ଗତିଜ ଶକ୍ତି ଯୋଗ କରି ଶକ୍ତି ଓ କୌଣିକ ସଂବେଗର ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମମାନଙ୍କରୁ ଆମେ ପାଇବା,

$$\tfrac{1}{2}m(\dot{r}^2 + r^2\dot{\theta}^2) + \frac{zZe^2}{4\pi\epsilon_0 r} = \tfrac{1}{2}mv_0^2 \qquad (୮୩.୧)$$

$$mr^2\dot{\theta} = mv_0 b \qquad (୮୩.୨)$$

$\frac{d\theta}{dt}$ କୁ ବହିଷ୍କାର କରି ଆମେ ପାଇବା,

$$\dot{r} = -v_0\left(1 - \frac{2q}{r} - \frac{b^2}{r^2}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad (୮୩.୩କ)$$

$$q = \frac{zZe^2}{4\pi\epsilon_0 mv_0^2} \qquad (୮୩.୩ଖ)$$

ଏଥିରେ ବିଯୁକ୍ତ ଚିହ୍ନ ନିଆଯାଇଛି, କାରଣ ନିକଟତର ହେବା ସମୟରେ $\frac{dr}{dt} < O$ ।

ଏହାକୁ ସମୀକରଣ (୮କ.୨) ଦ୍ୱାରା ଭାଗ କରି ଓ $\frac{\dot{\theta}}{\dot{r}} = \frac{d\theta}{dr}$ ବୋଲି ଲକ୍ଷ୍ୟ କଲେ ଆମେ ପାଇବା

$$\frac{d\theta}{dr} = -\frac{b}{r^2}\left(1 - \frac{2q}{r} - \frac{b^2}{r^2}\right)^{\frac{1}{2}} \qquad (୮କ.୪)$$

ଏହାର ଯେଉଁ ସମାକଳ $r = \infty$ରେ ଅଦୃଶ୍ୟ ହୋଇଯିବ, ତାହା

$$\theta = \cos^{-1}\left[\frac{b}{\sqrt{b^2+q^2}}\left(1 - \frac{2q}{2} - \frac{b^2}{r^2}\right)\right]^{\frac{1}{2}} - \cos^{-1}\frac{b}{\sqrt{b^2+q^2}}.$$

ସମୀକରଣ (୮କ.୪)ରେ ସ୍ଥାପନ କରି ଏହା ସହଜରେ ପରୀକ୍ଷା କରାଯାଇପାରେ । ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସରୁ ନିକଟତମ ଅବସ୍ଥାରେ $\frac{dr}{dt} = O$ । ତେଣୁ (୮କ.୩) ଅନୁସାରେ କରଣୀ ଚିହ୍ନ ଆଉ ରହିବନାହିଁ; ସେଠାରେ $\theta = \theta_o = \frac{\pi}{2} \quad \cos^{-1}\left(\frac{b}{\sqrt{b^2+q^2}}\right)$ ।

ପଥର ଦ୍ୱିତୀୟ ଅର୍ଦ୍ଧକରେ କଣିକାଟି ଦୂରେଇଯିବ । ଏହି ପଥ ପ୍ରଥମ ଅର୍ଦ୍ଧକ ପଥ ସହି ସମତା ରକ୍ଷା କରିବ । ତେଣୁ θରେ ମୋଟ ବୃଦ୍ଧି ହେବା $2\theta_o$ ଏବଂ କଣିକାର ଗତି ଦିଗରେ ମୋଟ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହେବ

$$\phi = \pi - 2\theta_o = 2\cos^{-1}\frac{b}{\sqrt{b^2+q^2}} \qquad (୮କ.୫କ)$$

ତେଣୁ

$$b = q\cot\phi/2 \qquad (୮କ.୫ଖ)$$

ସମୀକରଣ (୮କ.୫ଖ)ରୁ ଆମେ ଦେଖୁଥାଇ ଯେ ବିଚ୍ଛୁରଣ କୋଣ ସଂଘାତାଙ୍କ b ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ; bର କ୍ଷୁଦ୍ର ମୂଲ୍ୟ ବୃହତ କୋଣରେ ବିଚ୍ଛୁରଣ ସହି ସଂପୃକ୍ତ । ଯଦି ସଂଘାତାଙ୍କ $b+db$କୁ ବଢ଼ାଇ ଦିଆଯାଏ, ବିଚ୍ଛୁରଣ କୋଣ ϕରେ $d\phi$ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହେବ । ଏଠାରେ ସମୀକରଣ (୮କ.୫ଖ) ଦ୍ୱାରା

$$db = -\frac{q}{2}\frac{d\phi}{\sin^2(\phi/2)} \qquad (୮କ.୬)$$

ପ୍ରତି ଏକକ ଘନରେ n ନିଉକ୍ଲିୟସ ଥିବା t ବେଧ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ଫଲକ ଦ୍ୱାରା α କଣିକାମାନଙ୍କର ପରିସଂଖ୍ୟାନ ବଣ୍ଟନ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରିବାପାଇଁ, N_0 ସଂଖ୍ୟକ α କଣିକା ପ୍ରତି ଏକକ କ୍ଷେତ୍ର ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଫଲକକୁ ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ଥିବା ସମାନ୍ତର ପଥମାନଙ୍କରେ ନିଉକ୍ଲିୟସଆଡ଼କୁ ଆଗେଇ ଆସନ୍ତି । ଯଦି ଫଲକଟି ଅତ୍ୟନ୍ତ ପାତଳ ହୋଇଥାଏ, ତେବେ କୌଣସି ନିଉକ୍ଲିୟସଠାରୁ b ଓ $b+db$ ଦୂରତାରେ ମଧ୍ୟସ୍ଥ ଗତିପଥମାନଙ୍କରେ ପ୍ରତି ଏକକ କ୍ଷେତ୍ର ଦେଇ ଆପତନ କଣିକାମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା $N_0(2\pi b\,db)\,nt$ । ଏହି କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ϕ ଓ $d\phi$ କୋଣ ମଧ୍ୟରେ ବିଚ୍ଛୁରିତ ହେବେ । ତେଣୁ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଏକକ କ୍ଷେତ୍ରରୁ ϕ ଓ $d\phi$ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା କୋଣକୁ ବିଚ୍ଛୁରିତ ହେଉଥିବା α କଣିକାମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ହେବ,

$$dN = N(\phi)d\phi = N_0 nt\pi\left(\frac{zZe^2}{4\pi\epsilon_0 m v_0^2}\right)^2 \frac{\cos(\phi/2)}{\sin^3(\phi/2)}\,d\phi \quad (୮କ\text{-}୭)$$

ପରୀକ୍ଷାରେ ଜଣେ କାର୍ଯ୍ୟତଃ ବିଚ୍ଛୁରକ ଫଲକର ଗୋଟିଏ ଛୋଟିଆ କ୍ଷେତ୍ର ଖଣ୍ଡଠାରୁ R ଦୂରତାରେ ଥିବା A କ୍ଷେତ୍ରଫଳ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ସଂଗ୍ରାହକ ϕ କୋଣରେ ବିଚ୍ଛୁରିତ ହେଉଥିବା α କଣିକାମାନଙ୍କୁ ଗଣନା କରିଥାଏ । ଦରକାରୀ ଫଲକଟି ଏତେ ସାନ ଯେ ଏହାର ସମସ୍ତ ଅଂଶ ସଂଗ୍ରାହକଠାରୁ ସମଦୂରରେ ଅବସ୍ଥିତ ବୋଲି ଅନୁମାନ କରାଯାଏ । ଫଲକର କ୍ଷେତ୍ରଖଣ୍ଡରେ N_i ସଂଖ୍ୟକ α କଣିକା ଆପତିତ ହୁଅନ୍ତି, ଏହା ସ୍ପଷ୍ଟ ଯେ N_i ଫଲକର କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ କ୍ଷେତ୍ରର N_0ଗୁଣ । ϕ ଓ $\phi+d\phi$ ମଧ୍ୟରେ ବିଚ୍ଛୁରିତ ହେଉଥିବା କଣିକାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ସଂଗ୍ରାହକ ଗୋଟିଏ ଭଗ୍ନାଂଶ $A/(2\pi R\sin\phi)\ (Rd\phi)$ ସଂଗ୍ରହ କରିଥାଏ (ଚିତ୍ର ୮କ.୧) ସମୀକରଣ (୮କ.୭) ଏବଂ

$\sin\phi = 2\sin\phi/2\ \cos\phi/2$ ସମ୍ବନ୍ଧରୁ ସଂଗ୍ରାହକଠାରେ ପହଞ୍ଚୁଥିବା α କଣିକାମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ହେଲା

$$N_d = \frac{N_i ntA}{4R^2}\ \frac{z^2Z^2e^4}{16\pi^2\epsilon_0^2 m^2 v_0^4}\ \frac{1}{\sin^4(\phi/2)} \quad (୮କ.୮)$$

ପ୍ରଶ୍ନାବଳୀ

୧ । (କ) $_{94}PU^{242}$ରୁ ଆରମ୍ଭ ହୋଇ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ଶ୍ରେଣୀ $_{82}Pb^{206}$ରେ ଶେଷ ହୁଏ, ସେଥିରେ କେତୋଟି α ଓ β କଣିକା ବିକିରିତ ହୁଅନ୍ତି ?

ଉତ୍ତର : 9, 6.

(ଖ) ଯଦି ଜଣେ $_{93}NP^{237}$ରୁ ଆରମ୍ଭ କରେ, ତେବେ ଛଅଟି α ଓ ଚାରୋଟି β କଣିକା ବିକିରଣ ପରେ କେଉଁ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ରହିବ ?

ଉତ୍ତର : $_{84}Po^{213}$.

୨ । $_{83}Bi^{210}$ର ଅର୍ଦ୍ଧଜୀବନ 5·0ଦିନ । ବିଘଟନ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ କେତେ ? ସଦ୍ୟ ହୋଇଥିବା ଗୋଟିଏ ସାମ୍ପଲର କେତେ ଭଗ୍ନାଂଶ 2ଦିନ ପରେ ଥିବ ? 10 ଦିନ ପରେ ଥିବ ? 30 ଦିନ ପରେ ଥିବ ? ଗୋଟିଏ Bi^{210}. ପରମାଣୁର ହାରାହାରି ଜୀବନକାଳ କେତେ ?

ଉତ୍ତର : 0·139 ଦିନ$^{-1}$; 0·76, 0·25, 0·016, 7·2 ଦିନ ।

୩ । ଗୋଟିଏ 5 ଇ. ଭୋ. α କଣିକାର ଗୋଟିଏ ସୁନା ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ସହିତ ମୁହାଁମୁହିଁ ଧକ୍କାରେ ନିକଟତମ ଦୂରତା ହିସାବ କର । ଯଦି Au ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ପ୍ରାୟ 7×10^{-15} ମି. ହୋଇଥାଏ ଓ α କଣିକାର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ପ୍ରାୟ 2×10^{-15} ମି. ହୋଇଥାଏ, ତେବେ α କଣିକାର ଅନ୍ତତଃ କେତେ ଶକ୍ତି ହେଲେ ତାହା Au ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସକୁ ଛୁଇଁ ପାରିବ ? ପରୀକ୍ଷାଦ୍ୱାରା ଉପରେ କହି ପାରିବା ଯେ α କଣିକା ଗୁଡ଼ିକ Au ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ଏତେ ନିକଟକୁ ଚାଲିଯାଇଥିଲେ ଯେ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ବଳ ସବୁ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହୋଇଥିଲେ ?

ଉତ୍ତର : $4{\cdot}6 \times 10^{-14}$ ମି., 25 ମି. ଇ. ଭୋ.

୪ । ଯଦି K ଗତିଜ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ∝ କଣିକା ପ୍ରଥମରୁ ସ୍ଥିର ଅବସ୍ଥାରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ ସୀସା ନିଉକ୍ଲିୟସ ସହିତ ମୁହାଁମୁହିଁ ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ଆଘାତ କରେ, Kର ଭଗ୍ନାଂଶ ହିସାବରେ ସୀସା ନିଉକ୍ଲିୟସର ଅପସରଣ ଶକ୍ତି ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର । ∝ କଣିକାରୁ Pb ନିଉକ୍ଲିୟସ୍‌ର ସଂସ୍ପର୍ଶରେ ଆଣିବାଭଳି Kର ଯଦି ଅଧିକ ମୂଲ୍ୟ ନଥାଏ, ନିକଟତମ ଦୂରତା କେତେ ହେବ ? (ମନେରଖ ଯେ ନିକଟତମ ଦୂରତାରେ ସେ systemର ବସ୍ତୁତ୍ୱର କେନ୍ଦ୍ରର ଗତିଜ ଶକ୍ତି ରହିଥାଏ) । Pb ନିଉକ୍ଲିୟସ ସ୍ଥିର ଥିବାବେଳେ କରାଯିବା ହିସାବ ସଙ୍ଗେ ଏହି ଦୂରତା କିପରି ଭାବରେ ତୁଳନୀୟ ?

୫ । ଯଦି ଗୋଟିଏ ଦତ୍ତ ନିଉକ୍ଲିୟସ୍, ଯଥା—ଟେବୁଲ ୮·୧ରେ Po^{218}, ଦୁଇଟି ଉପାୟରେ ନାଶ ହୋଇପାରେ ଓ ସେ ଦୁଇଟିରେ ବିଘଟନ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ λ_1 ଓ λ_2 ହୁଏ, ପ୍ରମାଣ କର ଯେ $N(t) = N_0\, e^{-(\lambda_1+\lambda_2)t}$ ଏବଂ ଅର୍ଦ୍ଧଜୀବନ $(ln\, 2)/(\lambda_1+\lambda_2)$ ହେବ ।

୬ । ଯଦି କେହି ବିଶୁଦ୍ଧ Bi^{211} (ଟେବୁଲ ୮·୧ ଦେଖ)ରୁ $t = 0$ ରେ ଆରମ୍ଭ କରେ, ଜାତ TL^{207}ର β ସକ୍ରିୟତା କେତେ ସମୟ ପରେ ତାର ଶୀର୍ଷ ସ୍ଥାନରେ ପହଞ୍ଚିବ ? (B^{211}ର 0·32% TL^{207}କୁ ବିଘଟିତ ନହେବା କଥା ବିଚାରକୁ ନଅନାହିଁ ।)

୭ । F^{20} ଓ F^{21} ପରି ଏକା ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥର ଯଦି କୌଣସି ସାମ୍ପଲରେ ଦୁଇଟି ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ଆଇସୋଟୋପ ମିଶି କରି ରହିଥାନ୍ତି, ଦର୍ଶାଅ ଯେ ସ୍ୱଳ୍ପଜୀବନ ଆଇସୋଟୋପର ଦୀର୍ଘଜୀବନ ଆଇସୋଟୋପ ପ୍ରତି ଅନୁପାତ r ହେଲ,

$r = r_0\, e^{(\lambda_1-\lambda_2)t}$ । ଏଠାରେ λ_1 ସ୍ୱଳ୍ପଜୀବନ ଆଇସୋଟୋପର ବିଘଟନ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ ।

୮ । ପ୍ରତି 48ଘଣ୍ଟାରେ ମେଡିକାଲ ପାଇଁ 5ଗ୍ରାମ୍ ରେଡ଼ିୟମରୁ ରାଡ଼ନ ପମ୍ପ କରି କାଢ଼ି ନିଆଯାଏ । ପ୍ରତିଥର ପମ୍ପ ସମୟରେ କେତେ କ୍ୟୁରି ପରିମାଣର Rn ବାହାରିଥାଏ, ହିସାବ କର ।

ଉତ୍ତର : 1·5 କ୍ୟୁରି ।

୯ । ଦେଖାଅ ଯେ ଗୋଟିଏ ପାତଳ ଫଳକ ଦ୍ୱାରା ϕ ଠାରୁ ଅଧିକ କୋଣରେ ବିଚ୍ଛୁରିତ α କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ଆପତିତ α କଣିକାଗୁଡ଼ିକର

$$\pi nt\left(\frac{2Ze^2}{4\pi\epsilon_0 mv_0^2}\right)^2 \cot^2\frac{\phi}{2}$$ ଭଗ୍ନାଂଶ ହେବ ।

୧୦ । ଗୋଟିଏ ରେଡ଼ିୟମ ଉତ୍ସ Ra^{226}ରୁ α କଣିକା ସବୁ 4·79 ମି. ଇ. ଭୋ. ଶକ୍ତିରେ ଯାଇ 0·6μ ବେଧ ବିଶିଷ୍ଟ ସୁନା ଫଳକରୁ ବିଚ୍ଛୁରିତ ହେଲେ । ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ 4×10^5 α କଣିକାର ଗୋଟିଏ ସମାନ୍ତରୀକୃତ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ଆପତିତ ହେଲେ 0·7 ମିଟର ଦୂରରେ ଥିବା 1·2 ସେ. ମି.^{2} କ୍ଷେତ୍ରଫଳ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ସଂସ୍ଥାପକ ପରଦାରେ 30, 60, 90 ଏବଂ 135° ବିଚ୍ଛୁରଣ କୋଣ ପାଇଁ ଉକ୍ତ ସ୍ଥାନରେ ଗଣନା ହାର କେତେ ହେବ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

ଉତ୍ତର : 0·15, 0·011, 0·0027, $9{\cdot}2\times10^{-4}$ସେ.$^{-1}$ ।

୧୧ । (କ) ଥମସନଙ୍କ ପରମାଣୁରେ ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ R । ଏହି ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ଗୋଲକରେ ସମାନ ଭାବରେ ଯୁକ୍ତ ଧନ ବାଣ୍ଟି ହୋଇ ରହିଛି । ଯଦି $r < R$ ହୁଏ, ଦେଖାଅ ଯେ, ଏହି ଗୋଲକ ମଧ୍ୟରେ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ତୀବ୍ରତା $Zer/4\pi\epsilon_0R^3$ ହେବ ।

(ଖ) ଦେଖାଅ ଯେ, ଏହି ଗୋଲକର କେନ୍ଦ୍ରରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସ୍ଥାୟୀ ସାମ୍ୟ ଅବସ୍ଥାରେ ରହିବ; ଯଦି ସ୍ଥାନଚ୍ୟୁତ ହୁଏ, ତେବେ ସରଳ ହାରମୋନିକ ଗତି ଲାଭ କରିବ ଓ ତା'ର ଆବୃତ୍ତି ν

$$\nu=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 mR^3}}$$ ହେବ ।

(ଗ) ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପାଇଁ ଏହି ଆବୃତ୍ତି ହିସାବ କର ଓ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ବର୍ଣ୍ଣାଳୀର ଉଚ୍ଚତମ ଆବୃତ୍ତି ସହ ଏହାକୁ ତୁଳନା କର ।

ଉତ୍ତର : $6{\cdot}6\times{}^{15}Hz$ ଲାଇମାନ ପଂକ୍ତିର ଲିମିଟ ପାଇଁ ଥିବା ଆବୃତ୍ତିର ଦୁଇଗୁଣ ।

୧୨ । ଗୋଟିଏ α କଣିକାର ବିକ୍ଷେପଣ ଗୋଟିଏ ଥମସନ ପରମାଣୁରେ 10^{-4} କୋଟୀର ହେବ ବୋଲି ପ୍ରମାଣ କର, ଯେତେବେଳେ (କ) ପରମାଣୁ ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସହ ପାରସ୍ପରିକ ସମ୍ପର୍କ ହିସାବ କର । (ସୂଚନା—

ଗୋଟିଏ ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ବାଧା ଦ୍ୱାରା ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ପଥ ଦେଶୀରେ α କଣିକାର ଦୁଇଗୁଣ ଗତିବେଗ ଲାଭ କରିପାରିବ ବୋଲି ଦେଖାଅ; ଯଦି ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ αର ଗତିପଥ ପ୍ରତି ଲମ୍ବଭାବରେ ଏହି ଗତିବେଗ ଲାଭ କରେ, ତେବେ αର ବିକ୍ଷେପଣ ହିସାବ କର ।) ଏବଂ

(ଖ) ଯୁକ୍ତ ସ୍ୱର୍ଣ 1 ଆଂ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧର ଏକ ଗୋଲକରେ ସମାନ ଭାବରେ ଖେଳେଇ ହୋଇ ରହିଛି । (ସୂଚନା – ଯଦି ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ R ହୁଏ, α କଣିକାଟି କେନ୍ଦ୍ରଠାରୁ R ଦୂରତାରେ ଥିବାବେଳେ ସର୍ବାଧିକ ବଳ ହେବ) ଯଦି α କଣିକାଟିକୁ 2R ଦୂରତା ଗତି କରିବାପାଇଁ ଯେତେ ସମୟ ଲାଗିବ, ସେ ସମସ୍ତ ସମୟ ପାଇଁ ଏହି ସର୍ବାଧିକ ବଳ କାର୍ଯ୍ୟ କରେ, ଅନୁପ୍ରସ୍ଥ ସଂବେଗ ହିସାବ କର ।

୧୩ । $_{88}Ra^{228} \xrightarrow{\beta} {}_{89}Ac^{228} \xrightarrow{\beta} {}_{90}Th^{228}$ ଏକ ବିନାଶ ସଂକ୍ତ । ଏଥିରେ ଅର୍ଦ୍ଧଜୀବନ ଯଥାକ୍ରମେ 0·6·7ବର୍ଷ, 6ଘଣ୍ଟା ଏବଂ 1·9 ବର୍ଷ । ଏମାନେ ସମ ଅବସ୍ଥାରେ ରହିଛନ୍ତି । ଦେଖାଅ ଯେ, ସମସ୍ତ ସ୍କେଲ ବର୍ଷରେ ପରିମାପ କଲେ Ac^{228}ର ଅର୍ଦ୍ଧ-ଜୀବନ ଏତେ କମ୍ ହେବ ଯେ ଏହାର ସକ୍ରିୟତା ସବୁବେଳେ Ra^{228}ର ସକ୍ରିୟତା ସହିତ ସମାନ ହେବ । ଯଦି ଜଣେ ବିଶୁଦ୍ଧ Ra^{228}ର ଗୋଟିଏ ସାମ୍ପଲରୁ ଆରମ୍ଭ କରେ, Thର ସକ୍ରିୟତା 4·8 ବର୍ଷରେ Raର ସକ୍ରିୟତା ସହିତ ସମାନ ହେବ ବୋଲି ଦେଖାଅ । Thର ସକ୍ରିୟତା 4·8 ବର୍ଷରେ ସର୍ବାଧିକ ବୋଲି ପ୍ରତିପାଦନ କର । ଯେତେବେଳେ ସମ ଅବସ୍ଥା ଆସିଯିବ, Thର ସକ୍ରିୟତା ଓ Raର ସକ୍ରିୟତାର ଅନୁପାତ 1·39 ହେବ ।

୧୪ । ଯଦି ଗୋଟିଏ ବିଶୁଦ୍ଧ ଜନକ ଆଇସୋଟୋପରୁ ଆରମ୍ଭ କରି ଗୋଟିଏ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ବିନାଶ ସଂକ୍ତ ଅଛି, ତେବେ ଅନୁ ୮·୬ର ଆଲୋଚନାର ଅଭିବ୍ୟକ୍ତିରୁ ଦେଖାଅ,

$$N_3(t) = (0)\ \lambda_1\lambda_2 \left[\frac{e^{\lambda_1 t}}{(\lambda_2-\lambda_1)(\lambda_3-\lambda_1)} + \frac{e^{-\lambda_2 t}}{(\lambda_1-\lambda_2)(\lambda_3-\lambda_2)} + \frac{e^{-\lambda_3 t}}{(\lambda_1-\lambda_3)\ (\lambda_2-\lambda_3)}\right]$$

ନବମ ଅଧ୍ୟାୟ

ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ରେଖା ଓ ବୋର୍‌ ମଡେଲ

1911ରେ ପ୍ରସ୍ତାବିତ ରୁଥରଫୋର୍ଡ଼ ନିଉକ୍ଲିୟର ପରମାଣୁ ବିଜ୍ଞାନକୁ ବହୁଦୂର ଆଗେଇ ନେଇଥିଲା । ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନର ଅସ୍ତିତ୍ୱ ଉତ୍ତମରୂପେ ପ୍ରତିଷ୍ଠିତ ହୋଇଥିବାରୁ ଓ ଉତ୍ତେଜିତ ପରମାଣୁମାନଙ୍କରୁ ବିକିରିତ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ରେଖାମାନଙ୍କ ସହିତ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଘନିଷ୍ଠ ଭାବରେ ଜଡ଼ିତ ବୋଲି ଜିମାନ ପ୍ରଭାବରୁ ନିର୍ଭରଯୋଗ୍ୟ ପ୍ରମାଣ ମିଳିବାରୁ, ପାରମାଣବିକ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ଓ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ବଣ୍ଟନ ବୁଝାଇ ପାରିବା ଭଳି ପରମାଣୁର ଗୋଟିଏ ମଡ଼େଲ ବିଜ୍ଞାନବିତ୍‌ମାନେ ବାଧ୍ୟ ହୋଇ ଖୋଜିଲେ । 1913ରେ ବୋର୍ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁର ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ମଡେଲର ପ୍ରସ୍ତାବ ଦେଲେ । ଏଥିରେ କେତେକ ଦୁର୍ବଳତା ଥିଲେ ମଧ୍ୟ ଏହା ପାରମାଣବିକ ଗଠନ ବୁଝିବା ଦିଗରେ ବହୁଦୂର ଆଗେଇ ନେଇଥିଲା; କିନ୍ତୁ ବୋର୍‌ଙ୍କ ତତ୍ତ୍ୱ ଆଲୋଚିତ ହେବା ପୂର୍ବରୁ ପାରମାଣବିକ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ସମ୍ବନ୍ଧରେ କେତେକ ଆବଶ୍ୟକୀୟ ତଥ୍ୟ ଜାଣିବା ଦରକାର ।

9·1 1859 ମସିହାରେ ବୁନ୍‌ସେନ୍ ଓ କିରଚଫ୍‌ଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ବିଶ୍ଳେଷଣର ମୂଳଦୁଆ ପଡ଼ିଥିଲା । ଶତାବ୍ଦୀର ଏହାପର ଚତୁର୍ଥାଂଶ ସମୟରେ ଉତ୍ତେଜିତ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ବିକିରିତ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ରେଖାମାନଙ୍କ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଅବୁଝା ପରୀକ୍ଷା-ଫଳ ସବୁ ଜମିବାରେ ଲାଗିଲା । ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟର ନିର୍ଭରଯୋଗ୍ୟ ପରିମାପ ମିଳିବାରୁ ବହୁ ସଂଖ୍ୟକ ଗବେଷକ ଧ୍ୱନିବିଜ୍ଞାନର ଅତିକ୍ତେ ସ୍ୱରର ଧାରଣାର ଉପମା ନେଇ ଗୋଟିଏ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥର ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମରେ ମିଳୁଥିବା ରେଖାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସଂନାଦ ସମ୍ବନ୍ଧ ଖୋଜି ବସିଲେ । ଏହି ଗବେଷଣା ନିଷ୍ଫଳ ପ୍ରମାଣିତ ହେଲା, କିନ୍ତୁ ଏକ

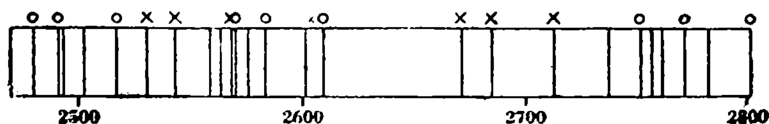
ଭିନ୍ନପ୍ରକାର ସମ୍ବନ୍ଧ ଆବିଷ୍କୃତ ହେଲା । ପ୍ରାୟ 1880ରେ ଲିଭିଂ ଓ ଡେବାର ଆଲ୍‌କାଲି ଧାତୁମାନଙ୍କ ପରି ଏକପ୍ରକାର ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କର ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମମାନଙ୍କରେ ଭୌତିକ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ଉପରେ ପ୍ରାଧାନ୍ୟ ଦେଇଥିଲେ । ସୋଡ଼ିୟମର ଆର୍କ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମରେ ହଳ ହଳ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ଉପରେ ସେମାନେ ଦୃଷ୍ଟିପାତ କରିଥିଲେ ଓ ଦର୍ଶାଇଥିଲେ ଯେ, ଏହି ହଳଗୁଡ଼ିକ ଏକାନ୍ତରଭାବେ ତୀକ୍ଷ୍ଣ ଓ ମଳିନ ଓ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମର କ୍ଷୁଦ୍ର-ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟଆଡ଼କୁ ସେମାନେ ଅଧିକ ପରିମାଣରେ ପରସ୍ପରର ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ ହୋଇ ଯାଇଛନ୍ତି । ଏଥିରେ କୌଣସି ପ୍ରକାରର ସିରିଜ୍‌ର ଧାରଣା ଜନ୍ମିଛି, ମାତ୍ର ସେମାନେ ଏ ସିରିଜ୍ ଆବିଷ୍କାର କରି ପାରି ନଥିଲେ । 1883 ମସିହାରେ, ଗୋଟିଏ ଦଳ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥର ଦ୍ୱିଧାର ବା ତ୍ରିଧାରମାନଙ୍କର ସଂଯୋଜକମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଏକ ପ୍ରଧାନ ସଂଖ୍ୟାମୂଳକ ସମ୍ବନ୍ଧ ହାର୍ଟଲେ ଆବିଷ୍କାର କରିଥିଲେ । ଯଦି ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ବଦଳରେ ଆବୃତ୍ତି ବ୍ୟବହାର କରାଯାଆନ୍ତା ହାର୍ଟଲେ ଦେଖିଲେ ଯେ, ଗୋଟିଏ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମରେ ବହୁଧାରର (ଅର୍ଥାତ୍ ଦ୍ୱିଧାର ଓ ତ୍ରିଧାର) ସଂଯୋଜକମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ଆବୃତ୍ତିମାନଙ୍କର ତାରତମ୍ୟ ସେହି ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମରେ ସମ ବହୁଧାରମାନଙ୍କ ପାଇଁ ସମାନ ।

ହାର୍ଟଲେଙ୍କ ନିୟମ କୌଣସି ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମର ଅସଂଖ୍ୟ ରେଖାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ଯେଉଁଗୁଡ଼ିକ ନିଶ୍ଚିତଭାବରେ ସଂପୃକ୍ତ ସେଗୁଡ଼ିକୁ ଅଲଗା କରିଦେବା ସମ୍ଭବ କରାଇଲା । ଚିତ୍ର ୯.୧ରେ ଜିଙ୍କ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମର ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରାୟ 2500ରୁ 2800A° ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଧ୍ରୁବ ଆବୃତ୍ତି ତାରତମ୍ୟ ଥିବା ଦୁଇଟି ତ୍ରିଧାର ଛକଦ୍ୱାରା ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ତେବେ, ସେହି ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ଅଞ୍ଚଳରେ ଆଉ ଗୋଟିଏ ତ୍ରିଧାର ସିରିଜ୍‌ଭାବରେ ମାତ୍ର ରହିଅଛି । ଏଗୁଡ଼ିକ ବୃତ୍ତଦ୍ୱାରା ଚିହ୍ନିତ ହୋଇଅଛି । ଏହି ସଂପୃକ୍ତ ରେଖାଗୁଡ଼ିକୁ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର କରିବା ବହୁ ପରିମାଣରେ ଅଧ୍ୟବସାୟ ଓ ଧୈର୍ଯ୍ୟ ଦରକାର କରେ ।

ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରାଲ ସିରିଜ୍‌ର ସୂତ୍ର ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଆମର ଜ୍ଞାନ 1885 ମସିହାରେ ବାମର୍‌ଙ୍କ ଆବିଷ୍କାରଠାରୁ ଆରମ୍ଭ ହୋଇଅଛି । ସେତେବେଳେ ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମରେ ଜଣାଥିବା ନଅଟି ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ଅତି ସୂକ୍ଷ୍ମଭାବରେ ନିମ୍ନସୂତ୍ର ସାହାଯ୍ୟରେ ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇ ପାରିବ,

$$\lambda = b\frac{n^2}{n^2-4} = 3645{\cdot}6\,\frac{n^2}{n^2-4}\,A^\circ \qquad (୯{\cdot}୧)$$

ଏଠାରେ n ଗୋଟିଏ ଚରଯୁକ୍ତସଂଖ୍ୟା—ଏହାର ମୂଲ୍ୟ ଯଥାକ୍ରମେ 3, 4, 5··· କ୍ରମିକ ସଂଖ୍ୟା ହେବ,

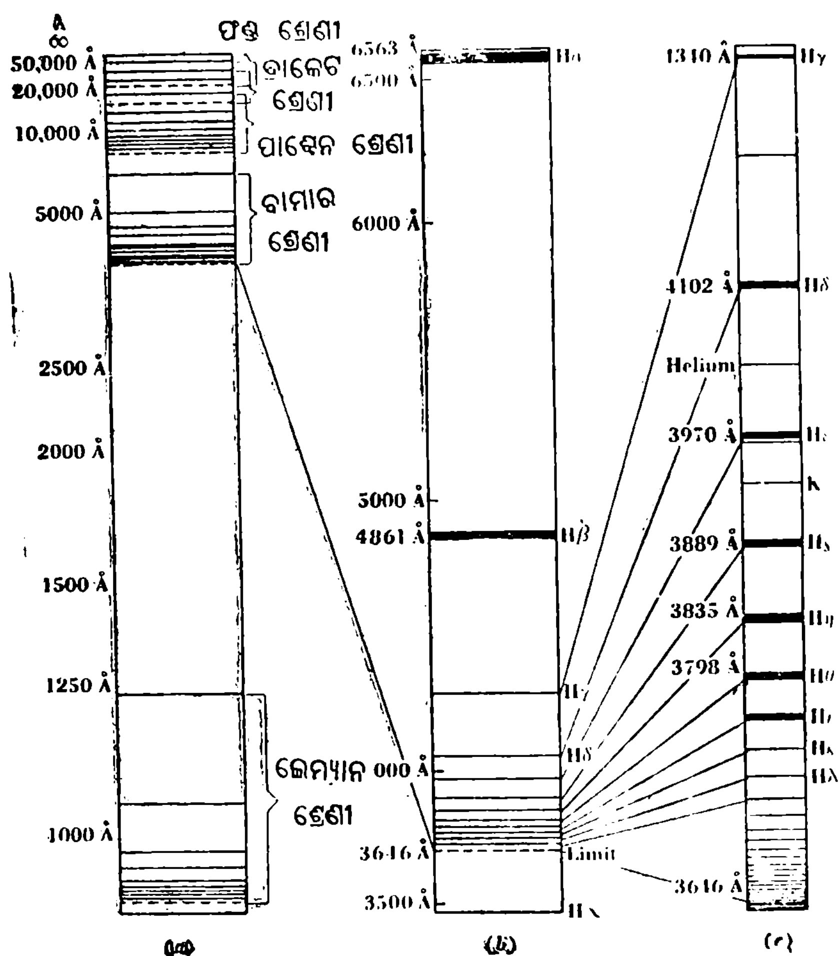


[ଚିତ୍ର ୯·୧ ଲୌହର ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମରେ ବାଇଗେଣି ପର ଆଲୋକ ଅଞ୍ଚଳରେ କେତେକ ରେଖା । ଯେଉଁ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ x ଦ୍ୱାରା ଚିହ୍ନିତ ସେଗୁଡ଼ିକ ଗୋଟିଏ ବହୁଧାର ସିରିଜ୍‌ର, o ଦ୍ୱାରା ଚିହ୍ନିତ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ସିରିଜର]

ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମରେ ପ୍ରଥମ (ଲାଲରୁ ଆରମ୍ଭ କରି), ଦ୍ୱିତୀୟ, ତୃତୀୟ···ରେଖାମାନଙ୍କ ପାଇଁ । ଚିତ୍ର ୯·୨ b ଓ c ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ବାମର ରେଖା ଦେଖାଉଅଛି ।

1906ରେ ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ବାଇଗଣି ପର ଅଲୋକ ପର୍ଯ୍ୟାଲୋଚନା କରିଥିଲେ । ସେ ତାଙ୍କ ନାମାନୁସାରେ ନାମିତ ସିରିଜ୍ ଆବିଷ୍କାର କରିଥିଲେ । ଏହାର ଦୁଇବର୍ଷପରେ ନିକଟତମ ଲାଲ-ପୂର୍ବ-ଆଲୋକରେ ପାସେନ୍ ଗୋଟିଏ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ସିରିଜ ଆବିଷ୍କାର କରିଥିଲେ । ଚିତ୍ର ୯·୨କରେ ଏହି ସିରିଜ୍‌ଗୁଡ଼ିକ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ବାମର ସିରିଜ୍ ପାଇଁ ଦିଆଥିବା ସୂତ୍ର ପରି ସୂତ୍ରମାନଙ୍କ ସାହାଯ୍ୟରେ ଏହି ସିରିଜ୍‌ଗୁଡ଼ିକରେ ରେଖାମାନଙ୍କର ଅବସ୍ଥାନ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇ ପାରିବ । ଏହା ଅନୁ: ୯·୪ରେ ବୋର୍ ତତ୍ତ୍ୱରୁ ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ କରାଯିବ ।

ବାମରଙ୍କର ଆବିଷ୍କାର, ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ସିରିଜ୍‌ରେ ଗବେଷଣାକୁ ଯେଉଁ ପ୍ରେରଣା ଯୋଗାଇଲା ତାହା ରେଖାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଘନିଷ୍ଠ ସମ୍ବନ୍ଧର ଅନ୍ୟ ଏକ ଅତ୍ୟନ୍ତ ନିର୍ଭରଯୋଗ୍ୟ ଉଦାହରଣ । ଏଗୁଡ଼ିକୁ ପାରମାଣବିକ ଭାବରେ ବର୍ଣ୍ଣନା କରି ପାରିବା



[ଚିତ୍ର ୯.୨ (କ) ପାରମାଣବିକ ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ବାଇଗଣୀ ପର-ଆଲୋକରେ ଲିମାନ ସିରିଜ୍, ଦୃଶ୍ୟମାନ ଆଲୋକରେ ବାମର ସିରିଜ୍ ଓ ଲାଲ-ପୂର୍ବ-ଆଲୋକର କେତେ ସିରିଜ୍ ରହିଅଛି ।

(ଖ) ବାମର ସିରିଜ୍ ଅଧିକ ସ୍ପଷ୍ଟଭାବରେ ଦେଖାଯାଇଅଛି

(ଗ) ତାରକା ζ ଟାଉରର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର ଏକ ଅଂଶ ଏଥିରେ ବାମର ସିରିଜର 20ରୁ ଅଧିକ ରେଖାଅଛି]

ସମ୍ଭବ । ବାମରଙ୍କର କାର୍ଯ୍ୟ ପ୍ରକାଶ ଲାଭ କରିବାର ପରେ ପରେ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ସିରିଜ ସମ୍ବନ୍ଧରେ କେଇଜର ଓ ରୁଙ୍ଗେଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଓ ରିଡ଼୍ବର୍ଗଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଗଭୀରତର ଅନୁସନ୍ଧାନ ଆରମ୍ଭ ହେଲା । ଅତି ଶୀଘ୍ର ଜଣାପଡ଼ିଗଲା ଯେ, ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ଅପେକ୍ଷା ଆବୃତ୍ତି ν ଅଧିକ ମୌଳିକ । ତେବେ, ଆମେ ଆବୃତ୍ତିକୁ ସିଧାସଳଖ ମାପ କରୁନାହିଁ; ଲବରେଟରୀରେ ମାପ କଲେ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ମିଳିଥାଏ । ତେଣୁ ଆଲୋକ ବିଜ୍ଞାନରେ ଆବୃତ୍ତିକୁ ବ୍ୟବହାର ନକରି ତରଙ୍ଗସଂଖ୍ୟା ବ୍ୟବହାର ରୀତି ପ୍ରଚଳିତ । ତରଙ୍ଗ ସଂଖ୍ୟା ହେଲା ଶୂନ୍ୟ ସ୍ଥାନରେ ଏକକ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ତରଙ୍ଗମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା; ଆମେ ଏହାକୁ $\bar{\nu}$ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରିବା । ତେଣୁ $\bar{\nu} = 1/\lambda$ ହେବ । (ଦୃଶ୍ୟମାନ ଆଲୋକ ପାଇଁ ବାୟୁରେ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ଶୂନ୍ୟ ସ୍ଥାନରେ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟଠାରୁ କମ୍; ପ୍ରାୟ 3000ରେ 1 ଅଂଶ କମ୍ ହୋଇଥାଏ ।) ଏକ ଶତାବ୍ଦୀରୁ ଅଧିକକାଳ ତରଙ୍ଗ ସଂଖ୍ୟାକୁ ଏକ ସେଣ୍ଟିମିଟରରେ ଥିବା ତରଙ୍ଗ ସଂଖ୍ୟାରେ ପ୍ରକାଶ କରା ଯାଉଥିଲା; ଆମେ ସେହି ରୀତି ଅବଲମ୍ବନ କରିବା ।

9·2 ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ସିରିଜ୍ ଓ ସେମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସମ୍ବନ୍ଧ :

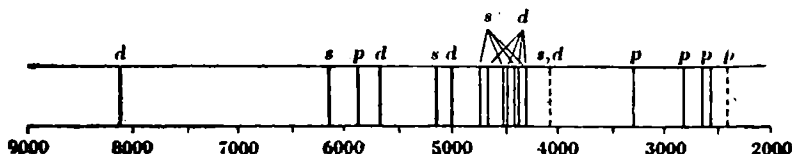
ତାଙ୍କର ଆବିଷ୍କାର କଥା ଜଗତକୁ ଜଣାଇବାବେଳେ ବାମର ପ୍ରଶ୍ନ ଉଠାଇଲେ—ତାଙ୍କର ସୂତ୍ର ଗୋଟିଏ ବ୍ୟାପକ ସୂତ୍ରର ଏକ ବିଶେଷ ଘଟଣା କି ? ଏହି ବ୍ୟାପକ ସୂତ୍ର ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କର ଅନ୍ୟ ସିରିଜ୍ର ରେଖାମାନଙ୍କ ଲାଗୁ ହେବ କି ? ରିଡ଼୍ବର୍ଗ ଏହିପରି ଏକ ସୂତ୍ର ବାହାର କରିବା ପାଇଁ ଚେଷ୍ଟା କଲେ । ସେତେବେଳେ ମିଳୁଥିବା ଆଲ କାଲ ପାଇଁ ଅପେକ୍ଷାକୃତ ବହୁ ପରିମାଣର ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ଫଳ ବ୍ୟବହାର କରି ହାର୍ଟଲେଙ୍କ ଧ୍ରୁବ ତରଙ୍ଗ ସଂଖ୍ୟା ତାରତମ୍ୟ ନିୟମ ବ୍ୟବହାର କରି ରିଡ଼୍ବର୍ଗ ଧ୍ରୁବ ଆବୃତ୍ତି ତାରତମ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ଦ୍ୱିଧାର ସବୁ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର କରିଦେଲେ । ସବୁ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଅତି ବାଇଗଣି ଆଲୋକରେ କୌଣସି ଲିମିଟ୍କୁ ଅଭିସରଣ କରିବାର ଦେଖାଗଲା । ସେ ଏପ୍ରକାରର ଦୁଇଟି ସିରିଜ୍ ବାଛି ଦେଇ ପାରିଲେ - ଗୋଟିଏ ପ୍ରକାରର ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ଅପେକ୍ଷାକୃତ ତୀକ୍ଷ୍ଣ । ତେଣୁ ଏହାକୁ ତୀକ୍ଷ୍ଣସିରିଜ କୁହାଯାଏ ଏବଂ ଗୋଟିଏ ପ୍ରକାରର ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ଅପେକ୍ଷାକୃତ ଚଉଡ଼ା, ସେ ଏହାର ନାମ ଦେଲେ ବିକ୍ଷିପ୍ତ ସିରିଜ୍ । ଏ ଉଭୟ ପ୍ରକାରର ରେଖା ଏକା ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥର ଆର୍କ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ମିଳିଥାଏ ।

ଅନେକ ଆର୍କ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ସେ ଏକ ତୃତୀୟ ପ୍ରକାରର ସିରିଜର ସନ୍ଧାନ ପାଇଲେ—ଏଥିରେ ଆବୃତ୍ତି ବା ରେଖାର (ଅର୍ଡ଼ିନାଲ) (ordinal) ସଂଖ୍ୟା ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଦ୍ୱିଧାରର ବ୍ୟବଧାନ କମିଯାଏ । ସତେ ଯେପରି ଅଭିସରଣ ଲିମିଟରେ ଏହି ବ୍ୟବଧାନ ଲୋପପାଇଯିବ । ଏହାକୁ ସେ ପ୍ରଧାନ ସିରିଜ୍ ବୋଲି କହିଲେ କାରଣ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର ଉଜ୍ଜ୍ୱଳତମ ଓ ସୁପ୍ରାପ୍ୟ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ଏହି ସିରିଜ୍‌ରେ ଥାଏ । "ରେଖା" କହିଲେ ଏଠାରେ ଆମେ ସାଧାରଣ ବିଯୋଜନ କ୍ଷମତା ବିଶିଷ୍ଟ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ମାପକରେ ଯେଉଁଗୁଡ଼ିକ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ରେଖା ବୋଲି ଦେଖାଯାଏ, ତାକୁହିଁ ବୁଝୁଛୁ । ପ୍ରକୃତରେ ଏଗୁଡ଼ିକ ବହୁରେଖାର ଏକ ଏକ ଜଟିଳ ସମାହାର । ଚିତ୍ର ୯.୮ରେ ସୋଡ଼ିୟମର ପ୍ରଧାନ, ତୀକ୍ଷ୍ଣ ଓ ବିକ୍ଷିପ୍ତ ସିରିଜର ପ୍ରଧାନ ପ୍ରଧାନ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ଯଥାକ୍ରମେ p, s, d ବୋଲି ଚିହ୍ନିତ ହୋଇ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି ।

ରିଡ଼ବର୍ଗ ଦେଖିଲେ ଯେ, ବହୁ ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ସିରିଜ୍ ଅତି ସୂକ୍ଷ୍ମଭାବରେ ନିମ୍ନ ଆକାରରେ ଗୋଟିଏ ସମୀକରଣ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରିବ ।

$$\bar{\nu}_m = \bar{\nu}_\infty - \frac{R}{(m+\mu^2)} \qquad (୯.୨)$$

ଏଠାରେ μ ଓ $\bar{\nu}_\infty$ ଦୁଇଟି ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ଧ୍ରୁବ—ଗୋଟିଏ ସିରିଜରୁ ଅନ୍ୟ ସିରିଜକୁ ଗଲେ ଏଗୁଡ଼ିକ ବଦଳେ । ଏହି ରେଖାମାନଙ୍କର ଅର୍ଡ଼ିନାଲ୍ (ordinal)



[ଚିତ୍ର ୯.୮ ସୂଚମ ସୋଡ଼ିୟମର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ P = ପ୍ରଧାନ s = ତୀକ୍ଷ୍ଣ d = ବିକ୍ଷିପ୍ତ ସିରିଜ୍ । ବିନ୍ଦୁଯୁକ୍ତ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ସିରିଜ୍ ଲିମିଟ ବୁଝାଉଛି । ତୀକ୍ଷ୍ଣ ସିରିଜ୍‌ର ପ୍ରଥମରେଖା 11·393A°ଠାରେ ଦେଖାଯାଇନାହିଁ ।

ଯଖୀ। m ଗୁଡ଼ିକ ଠିକ ଢବରେ ବାଛି ଏହି ସୂତ୍ରରେ ସର୍ବଦା μକୁ 1ରୁ କମ୍ କରାଯାଇ ପାରିବ। ଏହା ସ୍ପଷ୍ଟ। ଧ୍ରୁବ $\bar{\nu}_{\infty}$ ଉଚ୍ଚ ଆବୃତ୍ତି ଲିମିଟ୍ ବୁଝାଉଛି। ଏହି ମୂଲ୍ୟକୁ ଶେଷରେ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ଅଭିସରଣ କରିବେ। ଏହି ଅଧିକ ବ୍ୟାପକ ରିଡ଼ବର୍ଗ ସୂତ୍ରର ବାମର ସୂତ୍ର ଗୋଟିଏ ବିଶେଷ ଘଟଣା : କାରଣ ସମୀକରଣ (୯'୨)କୁ

$$\nu = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{b} - \frac{4}{bm^2} = \bar{\nu}_{\infty} - \frac{R}{m^2} \qquad (୯'୨କ)$$

ଆକାରରେ ଲେଖାଯାଇ ପାରିବ। ଏଠାରେ

$$\bar{\nu}_{\infty} = \frac{1}{b},\ R = \frac{4}{b},\ m = 3, 4, 5\cdots$$

ନିଆଯିବ। ଏହା $\mu = 0$ ନେଲେ ସମୀକରଣ (୯'୨) ପ୍ରକାରର।

ସମୀକରଣ (୯'୨)ରେ ଧ୍ରୁବ R (ଏହାକୁ ରିଡ଼୍ବର୍ଗ ଧ୍ରୁବ କହନ୍ତି)ର ମୂଲ୍ୟ ପ୍ରତ୍ୟେକ ପଦାର୍ଥ ପାଇଁ ଅନେକଗୁଡ଼ିକ ସିରିଜ୍ ଲାଗି ଏକା ହେବାର ଦେଖାଯାଏ ଓ ସମସ୍ତ ପଦାର୍ଥ ପାଇଁ ଏହାର ମୂଲ୍ୟ ପ୍ରାୟ ସମାନ ହୋଇଥାଏ। ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁରୁ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁକୁ ଗଲେ, ଏହି ମୂଲ୍ୟରେ ଯେ ସାମାନ୍ୟ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୁଏ, ତାହା ସେମାନଙ୍କର ପାରମାଣିକ ଓଜନର ତାରତମ୍ୟ ଲାଗି ହୋଇଥାଏ ବୋଲି ବର୍ତ୍ତମାନ ଜଣାଗଲାଣି। ଏହାର ପ୍ରଭାବ ତାତ୍ତ୍ୱିକ ଦୃଷ୍ଟିରୁ ହିସାବ କରିହେବ (ଅନୁ: ୯'୪) ଗୋଟିଏ ଅସୀମ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବିଶିଷ୍ଟ ପରମାଣୁ ପାଇଁ R କେତେ ହେବ ହିସାବ କରିବା ସମ୍ଭବ, ଏହି ମୂଲ୍ୟକୁ R_{∞} ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରାଯାଏ, ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପ୍ରକାରର ପରମାଣୁ ପାଇଁ ଏହାର ମୂଲ୍ୟ ଅନ୍ୟ ଏକ ଆସନ୍ନ ପରଲେଖ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରାଯାଏ। ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରୋସ୍କୋପୀୟ ପରୀକ୍ଷାରୁ ମିଳୁଥିବା ମୂଲ୍ୟଗୁଡ଼ିକ ହେଲା; ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁ ପାଇଁ H^1

$$R_H = 109{,}677{\cdot}58\,cm^{-1}$$
$$= 1{\cdot}0967758 \times 10^7 cm^{-1}$$

ଡ୍ୟୁଟେରିୟମ ପରମାଣୁ ପାଇଁ H^2

$$R_D = 109{,}\ 707{\cdot}42\,cm^{-1}$$

ହିଲିୟମ୍ ପାଇଁ He^4

$$R_{He} = 109,722{\cdot}27 cm^{-1}$$

ଅସୀମ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବିଶିଷ୍ଟ ପରମାଣୁ ପାଇଁ

$$R_{\infty} = 109,737{\cdot}31\ cm^{-1}$$

9·3 ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରୀୟ ପଦରାଜି :

ଏକା ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥର ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରୀୟ ସିରିଜ ମଧ୍ୟରେ ଅନେକ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ସମ୍ପର୍କ ରିଡ୍‌ବର୍ଗ ଦେଖି ପାରିଥିଲେ । ସେ ଦେଖିଲେ ଯେ, ତୀକ୍ଷ୍ଣ ଓ ବିକ୍ଷିପ୍ତ ସିରିଜମାନଙ୍କର ଅଭିସରଣ ଲିମିଟ ସାଧାରଣ । ତାପରେ ସେ ଦେଖିଲେ ଯେ, ଏହି ସାଧାରଣ ଲିମିଟ ପ୍ରଧାନ ସିରିଜର ସୂତ୍ରରେ ଗୋଟିଏ ପଦର ସମାନ ଅର୍ଥାତ୍ $\frac{R}{(m+\mu)^2}$ରେ mକୁ 1 ନେଲେ ଏହି ପଦ ମିଳିବ । ପ୍ରଧାନ ସିରିଜର ଲିମିଟ୍ ଓ ତୀକ୍ଷ୍ଣ ସିରିଜର ସୂତ୍ରରେ $m = 1$ ବସାଇ ତର ପଦଟି ନେଲେ ସେହିପରି ସମତା ମିଳିବ,

ଏହି ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ସମ୍ପର୍କଗୁଡ଼ିକ ଫଳରେ ପ୍ରଶ୍ନରେ ଥିବା ସୂତ୍ରଗୁଡ଼ିକ ନିମ୍ନ ଆକାରରେ ପୁନର୍ବାର ଲେଖାଯାଇ ପାରିବ ।

$$\bar{\nu}_p = \frac{R}{(1+S)^2} - \frac{R}{(m+P)^2}\quad m = 1, 2, \cdots\cdots \qquad (୯·୩କ)$$

$$\bar{\nu}_s = \frac{R}{(1+P)^2} - \frac{R}{(m+S)^2}\quad m = 2, 3\cdots\cdots \qquad (୯·୩ଖ)$$

$$\bar{\nu}_d = \frac{R}{(1+P)^2} - \frac{R}{(m+D)^2}\quad m = 2, 3\ \cdots\cdots \qquad (୯·୩ଗ)$$

ଏଠାରେ ଆମେ ବୁଝୁଛୁ ଯେ, ଅନ୍ତତଃ ଅଲ୍‌କାଲି ଧାତୁମାନଙ୍କ ପାଇଁ ପ୍ରଧାନ ସିରିଜରେ mଟି 1ଠାରୁ ଆରମ୍ଭ ହୋଇଥାଏ ଓ ଅନ୍ୟ ସିରିଜମାନଙ୍କରେ 2ରୁ ଆରମ୍ଭ ହୁଏ ।

ଏହି ସୂତ୍ରମାନଙ୍କରୁ ଦୁଇଟି ଅଧିକ ସମ୍ବନ୍ଧ ସ୍ପଷ୍ଟ ଭାବରେ ମିଳୁଅଛି । ଯଦି $\bar{\nu}_s$ ପାଇଁ ଦିଆଥିବା ସୂତ୍ରରେ ଆମେ $m=1$ ବସାଉ, $\bar{\nu}_p$ ରେ $m=1$ ବସାଇଲେ ଯେଉଁସଂଖ୍ୟା ମିଳିବ ଏହି ସଂଖ୍ୟା ପାଇପାରିବା; କେବଳ ଚିହ୍ନ ବଦଳିଯିବ । ଆହୁରି ମଧ୍ୟ, ପ୍ରଧାନ ସିରିଜ୍‌ର ଲିମିଟ ଓ ଅନ୍ୟ ଦୁଇ ସିରିଜ୍‌ର ସାଧାରଣ ଲିମିଟ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରଭେଦ ପ୍ରଧାନ ସିରିଜ୍‌ର ପ୍ରଥମ ରେଖାର ତରଙ୍ଗ ସଂଖ୍ୟା (ଏହା ରିଡ଼ବର୍ଗ-ସୁଷ୍ଟର ନିୟମ; 1896 ମସିହାରେ ରିଡ଼ବର୍ଗ ଓ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଭାବରେ ସୁଷ୍ଟର ଏହାକୁ ପ୍ରକାଶ କରିଥିଲେ) ।

ଏହି ସୂତ୍ର ରିଡବର୍ଗଙ୍କୁ ସୂଚାଇଥିଲା ଯେ ତାହାର ପାଖର ପ୍ରଥମ ପଦଟି ଦ୍ୱିତୀୟ ପଦଟି ପରି ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇପାରେ ଅର୍ଥାତ୍ ଆମେ ନିମ୍ନ ସୂତ୍ରଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ଗୋଟିଏ ସିରିଜ୍ ପାଇବାକୁ ଆଶା କରି ପାରିବା ।

$$\bar{\nu} = \frac{R}{(2+S)^2} - \frac{R}{(m+P)^2} \quad m=3, 4\cdots\cdots$$

ପରେ ରିଜ୍ ଏହିପରି ରେଖା ଗୁଡ଼ିଏ ବା ସିରିଜ ଆବିଷ୍କାର କରିଥିଲେ । ଏହି ପ୍ରକାର ରେଖା-ଗୁଡ଼ିକ ଅନ୍ତଃସଂଯୁକ୍ତ ରେଖା ବା ସିରିଜ କୁହାଯାଏ ଏବଂ ସେଗୁଡ଼ିକର ଅବସ୍ଥିତିର ସମ୍ଭାବନାକୁ ରିଜ୍ ସଂଯୁକ୍ତ ନିୟମ କୁହାଯାଏ । ସେଗୁଡ଼ିକର ବହୁ ଉଦାହରଣ ବର୍ତ୍ତମାନ ଜଣାଗଲଣି ।

ପାରମାଣବିକ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ବିଶେଷ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ବିଷୟଗୁଡ଼ିକ ନିମ୍ନରେ ଦିଆଗଲା ।

(୧) ପ୍ରତି ରେଖାର ତରଙ୍ଗସଂଖ୍ୟା ଦୁଇଟି ସଂଖ୍ୟାର ଅନ୍ତରରୂପେ ସହଜରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇ ପାରିବ । ଏହି ସଂଖ୍ୟାଗୁଡ଼ିକୁ ପଦ ବୋଲି କୁହାଯାଉଅଛି ।

(୨) ପଦଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରାକୃତିକ ଭାବରେ ନିୟମିତ କ୍ରମେ ଦଳବଦ୍ଧ ହୋଇଥାଏ, ପ୍ରତ୍ୟେକ କ୍ରମର ପଦଗୁଡ଼ିକ ଶୂନ୍ୟଅଙ୍କକୁ ଅଭିସରଣ କରିଥାଏ ।

(୩) ପଦଗୁଡ଼ିକ ନାନା ଉପାୟରେ ଏକତ୍ରିତ ହୋଇ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ରେଖାଗୁଡ଼ିକର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟସବୁ ଦେଇଥାଏ ।

(୪) ଏକା ଗୁଣ ବିଶିଷ୍ଟ ରେଖାମାନଙ୍କର ଗୋଟିଏ ସିରିଜ ଗୋଟିଏ କ୍ରମର ସମସ୍ତ ପଦ ସହିତ ଯଥାକ୍ରମରେ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ କ୍ରମର ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପଦ ସଂଯୁକ୍ତ ହେବା

ଫଳରେ ମିଳିଥାଏ । ଏହି ପ୍ରକାରରେ ଉଥାପ ହୋଇଥିବା ସିରିଜ୍‌ର ତରଙ୍ଗ ସଂଖ୍ୟାଗୁଡ଼ିକୁ କ୍ରମବର୍ଦ୍ଧିଷ୍ଣୁ ପରିମାଣ ଅନୁସାରେ ସଜାଇଲେ ଗୋଟିଏ ଉପର ଲିମିଟ୍‌କୁ ଅଭିସରଣ କରିଥାଏ ।

ଏଠାରେ ଯେଉଁ ସରଳ ଚିତ୍ର ଦିଆଯାଇଅଛି, ତା'ର କିଛି ପରିମାଣରେ ବିସ୍ତାରର ଆବଶ୍ୟକତା ରହିଅଛି । ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ 'ରେଖାମାନଙ୍କ' ଲାଗି ଶର୍ତ୍ତବର୍ଗ ସୂତ୍ର ଲେଖିବାରେ ଆମେ ରେଖାମାନଙ୍କର ସୂକ୍ଷ୍ମ ଗଠନ ବିଷୟରକୁ ନେଇ ନଥାଉଁ, ସେହି ସୂକ୍ଷ୍ମ ଗଠନ ଫଳରେ ପ୍ରଥମେ ସିରିଜ ଚିହ୍ନା ଯାଇଥିଲା; କିନ୍ତୁ ସାଧାରଣତଃ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ଦ୍ୱିଧାର, ତ୍ରିଧାର ବା ଏହାଠାରୁ ଅଧିକ ସଂଯୋଜକମାନଙ୍କର ଦଳ ଗଠନ କରିଥାଏ । ଏପରି ଘଟଣାମାନଙ୍କରେ, ପ୍ରତି ସଂଯୋଜକ ରେଖାପାଇଁ ଏକ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଶର୍ତ୍ତ୍‌ବର୍ଗ ସୂତ୍ର ଲେଖିବାକୁ ହେବ ।

9·4 ବୋର୍‌ତତ୍ତ୍ୱ :

1913 ମସିହାରେ ନିଲ୍‌ସ୍ ବୋର୍ ରୁଥରଫୋର୍ଡ଼ ଲାବରେଟରୀରେ କାମ କରି ରୁଥରଫୋର୍ଡ଼ଙ୍କ ନିଉକ୍ଲିୟସ୍ ପରମାଣୁ ସହିତ ପ୍ଲାଙ୍କଙ୍କ କ୍ୱାଣ୍ଟା ଓ ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନଙ୍କର ଫୋଟନକୁ ଏପରି ଭାବରେ ସଫଳତାର ସହିତ ମିଳାଇଲେ ଯେ ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ରେଖାମାନଙ୍କୁ ବୁଝାଇ ଦେଇ ପାରିଲେ । ବହୁକାଳରୁ ସ୍ୱୀକୃତ ହୋଇଥିଲା ଯେ, ସ୍ଥାନୀୟ ଗୁଣାବଳୀରେ ଯେପରି ମହାକର୍ଷଣ ବଳ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହୋଇଥାଏ, ସେହି ସ୍ଥିର-ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଆକର୍ଷଣ ବଳ ବ୍ୟତୀତ ଅନ୍ୟ କୌଣସି ବଳ ନଥିଲେ, ଗୋଟିଏ ଯୁକ୍ତ ନିଉକ୍ଲିୟସ ସହିତ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ବାନ୍ଧି ହୋଇ ବୃତ୍ତାକାରର ବା ଡିମ୍ବାକାରର କକ୍ଷରେ ସ୍ଥାୟୀ ଭାବରେ ରହିପାରିବ । ମାତ୍ର ପୁରାତନ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ଗୋଟିଏ ତ୍ୱରାନ୍ୱିତ ଚାର୍ଜ ଶକ୍ତି ବିକିରଣ କରିବ ଏବଂ ଏହା ଫଳରେ ଅତି ଶୀଘ୍ର ନିଉକ୍ଲିୟସ ମଧ୍ୟକୁ କୁଣ୍ଡଳାକାର ପଥରେ ପଶିଯିବ । ତେବେ, ପ୍ଲାଙ୍କଙ୍କର ମୂଳ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ତତ୍ତ୍ୱରେ (ଅନୁ: ୫·୬) ଦୁଇଟି ପ୍ରଧାନ କଥା ରହିଅଛି ।

(୧) ଗୋଟିଏ ଦୋଳକ ଏହାର ବିଭିନ୍ନ ବିଚ୍ଛିନ୍ନ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ଗୋଟିକରେ ରହିପାରେ ଏବଂ ଏହି ପ୍ରତ୍ୟେକ ବିଚ୍ଛିନ୍ନ ଅବସ୍ଥା ସହିତ ଏହାର ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ଅନୁଷଙ୍ଗ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ସଂପୃକ୍ତ ।

(୨) ଯେତେବେଳେ ଦୋଳକଟି ଏହାର ଗୋଟିଏ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାରେ ଥିବ, ସେତେବେଳେ କୌଣସି ବିକିରଣ ହେବନାହିଁ; କିନ୍ତୁ ଗୋଟିଏ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାରୁ ଲଘୁତର ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାକୁ ଏହା ଚାଲିଯିବା ସମ୍ଭବ । ଏହିପରି ଗତି ଫଳରେ ହୃତ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ଗୋଟିଏ ସ୍ଫୁଲିଙ୍ଗ ବା ବିକିରଣର କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଭାବରେ ନିଷ୍କାସିତ ହୋଇଥାଏ ।

ଅନ୍ୟାନ୍ୟ କ୍ଷେତ୍ରମାନଙ୍କରେ ଏହି ଅନୁମାନମାନଙ୍କର ପ୍ରଥମଟିର ସଫଳତାର ସହିତ ବ୍ୟବହାର ହୋଇଅଛି । କଠିନ ପଦାର୍ଥର ବିଶେଷ ତାପ ବୁଝାଇବାରେ ଆଇନଷ୍ଟାଇନ ଓ ବିଶେଷ କରି ଡିବାଇଙ୍କର କୃତିତ୍ୱ ଏ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ । ବିଂଶ ଅଧ୍ୟାୟରେ ଏହା ଆଲୋଚିତ ହେବ । ନିକଲ୍‌ସନ ମଧ୍ୟ ଏହି ତତ୍ତ୍ୱକୁ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ପ୍ରୟୋଗ କରିବାର ଚେଷ୍ଟା କରିଥିଲେ ଓ କେତେକ ପରିମାଣରେ ସଫଳ ହୋଇଥିଲେ; କିନ୍ତୁ ରେଖାମାନଙ୍କର ଗୋଟିଏ ସିରିଜ୍ ଗୋଟିଏ ଲିମିଟ୍‌କୁ ଅଭିସରଣ କରିବା ସେ ଦେଖାଇବାକୁ ସମର୍ଥ ହୋଇ ନଥିଲେ । ଏପ୍ରକାରର ଧାରଣାକୁ ରଦରଫୋର୍ଡ଼ ପ୍ରକାରର ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁକୁ ଉପରେ ପ୍ରୟୋଗ କରାଯାଇପାରିବ, ତାହା ବୋର୍ ଆବିଷ୍କାର କରିଥିଲେ ଓ ଏହାର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ପାଇଁ ସେ ଗୋଟିଏ ତାତ୍ତ୍ୱିକ ସୂତ୍ର ପାଇଥିଲେ, ଏହି ତାତ୍ତ୍ୱିକ ସୂତ୍ର ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ଫଳଗୁଡ଼ିକ ସହିତ ଖାପ ଖାଇଯାଇଥିଲା ।

ବୋର୍ ଅନୁମାନ କରିଥିଲେ ଯେ, ନିଉକ୍ଲିୟସର କ୍ଷେତ୍ରରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପୁରାତନ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ସମ୍ଭବ ପ୍ରତ୍ୟେକ ପଥରେ ଗତି କରିବା ସମ୍ଭବ ନୁହେଁ; କିନ୍ତୁ କେତେକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଅନୁମିତ ଗତିପଥରୁ ଗୋଟିକରେ ଗତି କରିବାକୁ ବାଧ୍ୟ ହୋଇଥାଏ । ସେ ଏପରି ଗତି କଲାବେଳେ, ବୋର୍‌ଙ୍କ ଅନୁମାନ ଅନୁସାରେ, ଏହା ବିକିରଣ କରେନାହିଁ, ଏହା ପୁରାତନ ତତ୍ତ୍ୱର ବିରୁଦ୍ଧାଚରଣ କରୁଅଛି । ତେଣୁ ଏତେବେଳେ ଏହାର ଶକ୍ତି ଧ୍ରୁବ ରହିଥାଏ । କିନ୍ତୁ ସେ ଅନୁମାନ କଲେ ଯେ, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗୋଟିଏ ପଥରୁ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ଅନୁମିତ ପଥକୁ (ଅଳ୍ପ ଶକ୍ତିଯୁକ୍ତ) ଡେଇଁ ଆସିପାରେ ଏବଂ ସେ ଯେତେବେଳେ ଏପରି କରେ ସେତେବେଳେ ଉକ୍ତ ଦୁଇ ପଥର ଅନୁରୂପ ଶକ୍ତିର ପରିମାଣର ଅନ୍ତର ସହିତ ସମ ପରିମାଣ ବିଶିଷ୍ଟ ଶକ୍ତି ବିକିରିତ ହୋଇଥାଏ ।

ଏହି ବିକିରଣର ଆବୃତ୍ତି ସମ୍ବନ୍ଧରେ ସେ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ବିକଳ୍ପ କଳ୍ପନା ବିଚାର କଲେ ଓ ଶେଷରେ ପ୍ଲାଙ୍କ ତାଙ୍କ ଦୋଳକ ପାଇଁ ଯେଉଁ ଅନୁମାନ ନେଇଥିଲେ, ସେହି ଅନୁମାନ ଗ୍ରହଣ କଲେ । ସେଇଟି ହେଲା, ଯଦି E_i ଓ E_f ଯଥାକ୍ରମେ ପରମାଣୁ ତା'ର ପ୍ରାରମ୍ଭିକ ଓ ଶେଷ ପଥରେ ଗତି କରିବାବେଳର ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ହୁଏ, ତେବେ ବିକିରଣର ଆବୃତ୍ତି ν ନିମ୍ନ ସର୍ତ୍ତ ଅନୁସାରେ ନିର୍ଣ୍ଣିତ ହେବ,

$$h\nu = E_i - E_f \qquad (୯·୪)$$

ଏଥିରେ h ହେଲା ପ୍ଲାଙ୍କଙ୍କ ଧ୍ରୁବ । ଏହି ଅନୁମାନର ଆଉ ଗୋଟିଏ ଅଧିକ ସୁବିଧା ଥିଲା । ଆଇନଷ୍ଟାଇନଙ୍କର ଅତି ସଫଳ ହୋଇଥିବା ଆଲୋକ-ବିଦ୍ୟୁତ ସମୀକରଣ (ଅନୁ: ୬·୭)ରେ ବ୍ୟବହୃତ ଅନୁମାନ ସହିତ ଏହା ମିଳି ଯାଉଥିଲା । ଏହି କାରଣରୁ ସମୀକରଣ (୯·୪)କୁ ପରେ ଆଇନଷ୍ଟାଇନ ଆବୃତ୍ତି ସର୍ତ୍ତ ବୋଲି କୁହାଗଲା ।

ଅନୁମତି ପଥଗୁଡ଼ିକ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରିବାର ସର୍ତ୍ତଗୁଡ଼ିକ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ମଧ୍ୟ ବୋର୍‌ଙ୍କର ସନ୍ଦେହ ଥିଲା । ଯେତେବେଳେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଏହା ସ୍ଥିର ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ (ସେ ଏପରି ନାମ ଦେଇଥିଲେ) ମଧ୍ୟରୁ ଗୋଟିଏ ଥାଏ, ସେତେବେଳେ ଏହା ପୁରାତନ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ନିୟମ ଅନୁସାରେ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଚାରିପଟେ ବୃତ୍ତାକାର ବା ଡିମ୍ବାକାର ପଥରେ ଘୁରୁଥାଏ ବୋଲି ସେ ଅନୁମାନ କରିଥିଲେ; କିନ୍ତୁ ଏହି କକ୍ଷର ଆକାର ଓ ପ୍ରକାର କିପରି ସ୍ଥିର ହୁଏ ? ଶେଷରେ, ସେ ଅନୁମାନ କଲେ ଯେ, କକ୍ଷ ଗୋଟିଏ ବୃତ୍ତ, ନିଉକ୍ଲିୟସଟି ଏହାର କେନ୍ଦ୍ରରେ ଓ ତାର ଆକାର ଏପରି ଯେ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଚାରିପଟେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଘୂରିଲାବେଳେ ତା'ର କୌଣିକ ସଂବେଗ ପ୍ରାକୃତିକ ଏକକ $h/2\pi$ର ଗୋଟିଏ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟକ ଗୁଣ ହେବ । $h/2\pi$କୁ $\hbar$ ବୋଲି ଲେଖାଯାଏ (ଆମେ ପରେ ଦେଖିବା ଯେ ଏହା ସତ୍ୟ ନୁହେଁ ।)

ବୋର୍ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ସ୍ଥିର ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କର ଅନୁମତି ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ଓ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ରେଖାମାନଙ୍କର ଅନୁମତି ମୂଲ୍ୟ ଏହି ତିନୋଟି ମୌଳିକ ଅନୁମାନରୁ ସହଜରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ Ze ଚାର୍ଜଯୁକ୍ତ ଗୋଟିଏ ନିଉକ୍ଲିୟସ ବିଶିଷ୍ଟ ସଂସ୍ଥା ପାଇଁ ସହଜରେ ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ କରିଯାଇପାରିବ ।

(୧) ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଓ ନିଉକ୍ଲିୟସ ମଧ୍ୟରେ କୁଲମ୍ବ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାଦ୍ୱାରା ମିଳୁଥିବା କେନ୍ଦ୍ରାଭିମୁଖୀ ବଳରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ବୃତ୍ତାକାର ପଥରେ ଘୁରୁଥାଏ,

$$\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} = m\frac{v^2}{r} = mw^2r \qquad (୯·୫)$$

ଏଠାରେ r = ଅନୁମତ କକ୍ଷର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ।

v = ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗତିବେଗ ।

w = ଅନୁରୂପ କୌଣିକ ଗତିବେଗ ।

(୨) ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର କୌଣିକ ସଂବେଗ A କେବଳ $\hbar$ର ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟକ ଗୁଣିତକ ମୂଲ୍ୟ ଗ୍ରହଣ କରିଥାଏ ।

$$A = mvr = mwr^2 = n\hbar \qquad (୯·୬)$$

(୩) ଯେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗୋଟିଏ ସ୍ଥିର ଅବସ୍ଥାରୁ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ସ୍ଥିର ଅବସ୍ଥାକୁ ସଂକ୍ରମିତ ହୋଇଥାଏ, ସେତେବେଳେ ଆଇନଷ୍ଟାଇନଙ୍କ ଆବୃତ୍ତି ସର୍ତ୍ତ $h\nu = E_1 - E_2$ ପୂରଣ ହୋଇଥାଏ ।

ସମୀକରଣ (୯·୫) ଓ (୯·୬)ରୁ vକୁ (ବା w କୁ) ଅପସାରଣ କଲେ, ଆମେ କକ୍ଷଗୁଡ଼ିକର ଅନୁମିତ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ନିମ୍ନଭାବେ ପାଇବା (ଚିତ୍ର ୯·୪)

$$r_n = 4\pi\epsilon_0 \frac{\hbar^2 n^2}{me^2 Z} \qquad (୯·୭)$$

ଅନୁମିତ କକ୍ଷଗୁଡ଼ିକର ଧାରାବାହିକ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧଗୁଡ଼ିକ n^2କୁ ଅନୁପାତି ବା 1, 4, 9, 16······କୁ ଅନୁପାତି । ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପାଇଁ $z = 1$ ଏବଂ କ୍ଷୁଦ୍ରତମ ଅନୁମିତ ବୃତ୍ତର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ

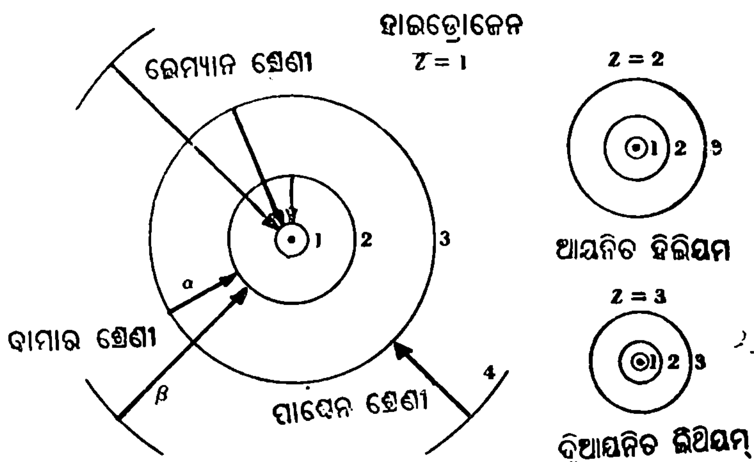
$$a_B = r_1\ (z = 1,\ n = 1) = 4\pi\epsilon_0\ \frac{\hbar^2}{me^2}$$

$$= 0{\cdot}5292 \times 10^{-10}\ m \qquad (୯·୮)$$

ଏହାକୁ ବୋର୍ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ କୁହାଯାଏ । ଏହି କକ୍ଷର ବ୍ୟାସ $1A^\circ$ର ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ, ଏହା ଗତିଜ ତତ୍ତ୍ୱର ହିସାବ ସଙ୍ଗେ ଭଲଭାବେ ମିଳିଯାଉଅଛି । ଏଥିରୁ ସର୍ବପ୍ରଥମେ ପ୍ରମାଣ ମିଳିଲା ଯେ, ଏ ନୂତନ ତତ୍ତ୍ୱ ଅଣୁମାନଙ୍କର ପ୍ରଣୀତ ଆକାର ବୁଝାଇ ଦେଇ ପାରିବ ।

ସମୀକରଣ (୯·୭) ଅନୁସାରେ, ଆମେ ପାଇବା $v = n\hbar/mr$ । ତେଣୁ nତମ କକ୍ଷରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଗତିବେଗ ହେବ,

$$v_n = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{e^2Z}{\hbar n} = \frac{e^2Z}{2\epsilon_0 hn} \qquad (୯·୯)$$



[ଚିତ୍ର ୯·୪ ତିନୋଟି ପରମାଣୁଙ୍କର ଗୋଟିଏ ସାଧାରଣ ସ୍କେଲ ଅନୁସାରେ ଟଣା ହୋଇଥିବା କ୍ଷୁଦ୍ରତମ ବୋର୍ କକ୍ଷସବୁ]

ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ପ୍ରଥମ ବୋର୍ କକ୍ଷରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଗତିର ଆଲୋକର ବେଗ c ପ୍ରତି ଅନୁପାତ αକୁ ସୂକ୍ଷ୍ମଗଠନ ଧ୍ରୁବ କୁହାଯାଏ । ଏହାର ମୂଲ୍ୟ ହେଲା,

$$\alpha = \frac{v_1}{c} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{e^2}{\hbar c} = \frac{1}{137.0377} \qquad (୯·୧୦)$$

ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଶକ୍ତି ଅଂଶିକଭାବେ ଗତିଜ ଓ ଅଂଶିକଭାବେ ସ୍ଥିତିଜ । ଯେତେବେଳେ ଅସୀମ ଦୂରତାରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ସ୍ଥିରଭାବେ ଥାଏ, ସେତେବେଳେ ଏହାର

ଶକ୍ତିକୁ ଯଦି ଶୂନ୍ୟ ବୋଲି ନିଆଯାଏ, ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ଅବସ୍ଥିତିର ଏହାର ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ହେବ,

$$P = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Ze^2}{r}$$

ଏହାର ଗତିଜ ଶକ୍ତି ହେବ (୯.୫) ଅନୁସାରେ

$$K = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}mr^2w^2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Ze^2}{2r}$$

ମୋଟ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ହେବ,

$$E = K + P$$

ଏବଂ ସେହି କାରଣରୁ nତମ ଅବସ୍ଥା ପାଇଁ

$$E_n = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\frac{Ze^2}{2r_n}$$

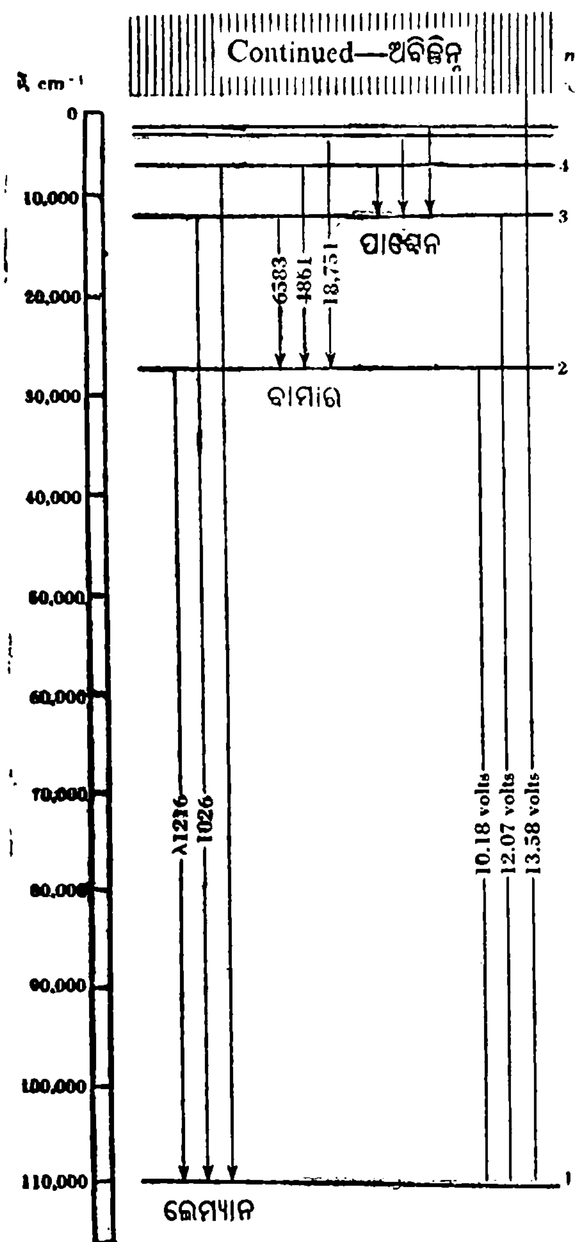
$$= -\left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\right)^2 \frac{me^4Z^2}{2\hbar^2n^2}$$

$$= -\frac{me^4Z^2}{8\epsilon_0^2h^2n^2} \qquad (୯.୧୧)$$

ଅମର ହିସାବ ଗୋଟିଏ ସଂଶୋଧନ ଦରକାର କରୁଅଛୁ । ଆମେ ଯେଉଁ ତତ୍ତ୍ୱ ଗଢ଼ିଥାଉଁ, ତାହା ସ୍ଥିର-ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ତତ୍ତ୍ୱ । ପ୍ରକୃତରେ ଯଦି ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଟି M ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ଚ୍ଚତୁଃପାର୍ଶ୍ୱେ ଘୂରେ, ଏହାର ଗତିପଥ ସ୍ଥାନରେ a' ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ବୃତ୍ତ ହେବ (ଚିତ୍ର ୯.୫); ଏହାର କେନ୍ଦ୍ର ସଂଯୁକ୍ତ ସଂସ୍ଥାର ବସ୍ତୁତ୍ୱ କେନ୍ଦ୍ର । ତା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସଟି ଗୋଟିଏ ଛୋଟ ବୃତ୍ତରେ (ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ a'') ଘୂରିବ, ଏଠାରେ $r = a' + a''$ । ଏହି ସଂଶୋଧନର ଫଳ ହେବ ବସ୍ତୁତ୍ୱ m ସ୍ଥାନରେ



[ଚିତ୍ର ୯.୫ ବସ୍ତୁତ୍ୱ କେନ୍ଦ୍ର]



[ଚିତ୍ର ୯.୭ ହାଇଡ୍ରୋଜେନର କମ୍ପନ୍ନ ଶକ୍ତିସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ଓ ସ୍ତରମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସଂକ୍ରମଣ ଫଳରେ ସୃଷ୍ଟ କେତେକ ରେଖା । ତାହାଙ୍କରେ ସ୍ତରମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ବିଭବ ତାରତମ୍ୟ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି ।]

ବସ୍ତୁତଃ

$$m_r = \frac{m}{1+m/M} \qquad (୯.୧୨)$$

ନେବା ।

ସମୀକରଣ (୯.୧୧)ର ଧ୍ରୁବଗୁଡ଼ିକର ଅସଲ ମୂଲ୍ୟ ବସାଇଦେଲେ ଆମେ ପାଇବା,

$$E_n = -\frac{2{\cdot}176 \times 10^{-18} Z^2}{n^2} j$$

$$= -\frac{13{\cdot}58Z^2}{n^2} eV \qquad (୯.୧୧ଭ)$$

ତେଣୁ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନ ସହ ବାନ୍ଧ ହୋଇଥିଲେ, ଅନନ୍ତିକ ବିଚ୍ଛିନ୍ନ ଶକ୍ତି ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କ (ଚିତ୍ର ୯.୬) ମଧ୍ୟରୁ ଗୋଟିକରେ ରହିପାରିବ । ଏହା ସାଙ୍ଗକୁ ବୋର୍ ଅନୁମାନ କଲେ ଯେ, ପ୍ରୋଟନ ନିକଟରେ ବନ୍ଧନମୁକ୍ତ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଯେକୌଣସି ଯୁକ୍ତ ଶକ୍ତିରେ ଗତି କରି ପାରିବ । ଏକ୍ଷେତ୍ରରେ କକ୍ଷଟି ଗୋଟିଏ ହାଇପରବୋଲା ହେବ । ଫଳତଃ, ମୋଟରେ ଆମେ ଗୁଡ଼ିଏ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ବିଯୁକ୍ତ ଶକ୍ତିର ସେଟ୍ ପାଇବା ବା ଶକ୍ତିସ୍ତର-ଗୁଡ଼ିକ ଶୂନ୍ୟକୁ ଅଭିସରଣ କରିବେ ଏବଂ ଶୂନ୍ୟର ଉପରକୁ ଯୁକ୍ତ ଶକ୍ତିର ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ମୂଲ୍ୟ ଅନନ୍ତିକ ହେବ । ଯେହେତୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ଅସୀମ ଦୂରତାରେ ସ୍ଥିର ଥିଲବେଳେ ଏହାର ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ଶୂନ୍ୟ ନିଆଯାଇଅଛି, ସାଧାରଣ ଅବସ୍ଥାର ଶକ୍ତିର ସଂଖ୍ୟାସୂଚକ ମୂଲ୍ୟ (ବିଯୁକ୍ତ) ମଧ୍ୟ ପରମାଣୁରୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନକୁ ଅପସାରଣ କରି ଆୟନୀଭୂତ କରିବାପାଇଁ ଆବଶ୍ୟକ ହେଉଥିବା ସର୍ବନିମ୍ନ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ଦେଇଥାଏ । ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପାଇଁ ଏହି ଆୟନୀକରଣ ଶକ୍ତି ହେବ 13·58eV ।

ଗୋଟିଏ ଶେଷ ମନ୍ତବ୍ୟ ଏଥି ସହିତ ଯୋଗ କରିବା, ଏହା ଭୁଲ ବୁଝିବାର ସମ୍ଭାବନା ଦୂର କରିବା । ବୋର୍ ତତ୍ତ୍ୱରେ ବିଭିନ୍ନ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥା ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ କକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗ ଠିକ୍ ମୂଲ୍ୟ ଦିଏନାହିଁ । ଏହା ଆମେ 14 ଅଧ୍ୟାୟରେ ଆମେ ଦେଖିବା । ତେବେ, ବୋର୍ ତତ୍ତ୍ୱରୁ ଶକ୍ତିସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ମିଳୁଅଛି (କେବଳ ସାମାନ୍ୟ ସଂଶୋଧନ କରିବାକୁ ହେବ) ।

9.5 ପାରମାଣବିକ ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ :

ଯେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗୋଟିଏ ପ୍ରାରମ୍ଭିକ ଅବସ୍ଥା n_iରୁ ଗୋଟିଏ ଶେଷ ଅବସ୍ଥା n_fକୁ ବିକିରଣକାରୀ ସଂକ୍ରମଣ କରିଥାଏ, ସମୀକରଣ (୯·୪) ଅନୁସାରେ ଶକ୍ତି ହେଲା,

$$h\nu = \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\right)^2 \frac{m_r e^4}{2\hbar^2}\left(\frac{1}{n_f^2}-\frac{1}{n_i^2}\right)Z^2 \qquad (୯·୧୩)$$

ଏବଂ ତରଙ୍ଗସଂଖ୍ୟା $\bar{\nu}$ (ଏକକ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ତରଙ୍ଗମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା)

$$\bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} = \frac{\nu}{c} = \frac{m_r e^4}{8\epsilon_0^2 h^3 c}\left(\frac{1}{n_f^2}-\frac{1}{n_i^2}\right)Z^2$$

$$= R\left(\frac{1}{n_f^2}-\frac{1}{n_i^2}\right)Z^2 \qquad (୯·୧୪)$$

ଏଠାରେ $R = m_r e^4/8\epsilon_0^2 h^3 c$ ହେଲା ରିଡ଼ବର୍ଗ ଧ୍ରୁବ । Rକୁ ମୌଳିକ ଧ୍ରୁବ-ମାନଙ୍କରେ ପ୍ରକାଶ କରିବାପାଇଁ ବୋର୍‌ଙ୍କ ହିସାବ, ତାଙ୍କ ତତ୍ତ୍ୱର ଏକ ନାଟକୀୟ ବିଜୟ ।

ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପାଇଁ $Z = 1$, ଏହାର ଲିମାନ ସିରିଜ୍‌ର ଫୋଟନମାନଙ୍କର ଶକ୍ତି ଓ ତରଙ୍ଗସଂଖ୍ୟା ଯଥାକ୍ରମେ ସମୀକରଣ (୯·୧୩) ଓ (୯·୧୪) ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ । n_fକୁ 1 କରି n_iକୁ 2, 3, 4 ...... ମୂଲ୍ୟ ଦେଲେ ଏହା ମିଳିଥାଏ । $n = 1$ ନିମ୍ନତମ ଅନୁମତିକ ଶକ୍ତିସ୍ତରର ଅନୁରୂପ ହୋଇଥିବାରୁ ବା ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥା ହୋଇଥିବାରୁ, ଆମେ ଦେଖୁଥାଉଁ ଯେ ଉଚ୍ଚତର ବା ଉତ୍ତେଜିତସ୍ତରମାନଙ୍କରୁ ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାକୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସଂକ୍ରମଣ ଫଳରେ ଲିମାନ ସିରିଜ ମିଳିଥାଏ (ଚିତ୍ର ୯·୫) ।

$n_f = 2$ ଅବସ୍ଥାକୁ $n_i = 3, 4, 5$ ... ଦ୍ୱାରା ସୂଚିତ ପ୍ରାରମ୍ଭିକ ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କରୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସଂକ୍ରମଣ ଫଳରେ ବାମର ସିରିଜ ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଥାଏ । ସେହିପରି, ପାସ୍ଚେନ ସିରିଜ୍ $n_i = 4, 5, 6$ ... ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କରୁ ଶେଷ ଅବସ୍ଥା $n_f = 3$କୁ ସଂକ୍ରମଣ ଫଳରେ ମିଳିଥାଏ । ବୋର୍ ତତ୍ତ୍ୱ ପାରମାଣବିକ ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ଆବିଷ୍କୃତ ସମସ୍ତ ରେଖା ଓ ଓ ସେତେବେଳକୁ ଆବିଷ୍କୃତ ନ ହୋଇଥିବା ସମସ୍ତ ରେଖା ବୁଝାଇ ପାରିଥିଲା । 1922 ମସିହାରେ ମିଳିଥିବା ବ୍ରାକେଟ୍ ସିରିଜ ଲୋହିତୋତ୍ତର ଆଲୋକ ମଧ୍ୟରେ ଅବସ୍ଥିତ ଓ ଏହା

$n_1 = 4$ ଦ୍ୱାରା ସୂଚିତ ସଂକ୍ରମଣ ସହ ସଂପୃକ୍ତ । 1924ରେ ସୁଦୂର ଲୋହିତୋତ୍ତର ଆଲୋକରେ $n_1 = 5$ ସହ ସଂପୃକ୍ତ ଫଣ୍ଡ ସିରିଜ ମିଳିଥିଲା ।

9·6 ଆୟନୀଭୂତ ହିଲିୟମ :

ଗୋଟିଏ ହିଲିୟମ ପରମାଣୁରୁ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଚାଲିଗଲେ ଏହା ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁର ସମକକ୍ଷ ହେବ, ତଥାପି କେବଳ ଏହାର $Z=2$ ଓ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସଟି ଓଜନରେ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ପ୍ରାୟ ଚାରିଗୁଣ । ଏପରି ପରମାଣୁରୁ ବିକିରିତ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମକୁ ହିଲିୟମର ସ୍ପାର୍କ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ କୁହାଯାଏ (ବା ହିଲିୟମ II ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ) । କାରଣ ଏପରି ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ହିଲିୟମକୁ ଆର୍କରେ ଉତ୍ତେଜିତ ନକରି ସ୍ପାର୍କରେ ଉତ୍ତେଜିତ କଲେ ଅଧିକ ଉଜ୍ଜ୍ୱଳଭାବେ ଦେଖାଯାଇଥାଏ । ହିଲିୟମର ଆର୍କ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ସୁଷମ ପରମାଣୁ ଦ୍ୱାରା ବିକିରିତ ହୋଇଥାଏ । ଏହା ବିଷୟ ପରେ ବିଚାର କରିବା (ଅନୁ: ୧୭.୪) ।

ସମୀକରଣ (୯.୧୪)ରେ $Z=2$ ବସାଇଲେ, ଆମେ ଦେଖିବା ଯେ, ଆୟନୀଭୂତ ହିଲିୟମ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ବିକିରଣ କରୁଥିବା ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ପରି ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ଦେବ, କେବଳ ଏହାର ସମସ୍ତ ଆବୃତ୍ତି ଚାରି ଗୁଣ ହୋଇଯିବ ବା ସମସ୍ତ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ଚତୁର୍ଥାଂଶ ହୋଇଯିବ ।

ତତ୍ତ୍ୱରୁ ଏହି ସିଦ୍ଧାନ୍ତ ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ଫଳ ସହିତ ମିଳିଯାଉଅଛି, କେବଳ H_eର m_r ବା ପରିଣିତ ବସ୍ତୁତ୍ୱ Hଠାରୁ ସାମାନ୍ୟ ଅଧିକ ହୋଇଥିବାରୁ ସାମାନ୍ୟ ସଂଖ୍ୟାମୂଳକ ତାରତମ୍ୟ ହୋଇଥାଏ । ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ରେଖାଗୁଡ଼ିକର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ଏତେ ସୂକ୍ଷ୍ମଭାବରେ ମାପ କରାଯାଇ ପାରୁଛି ଯେ, ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ଓ ହିଲିୟମର ରିଡବର୍ଗ ଧ୍ରୁବରୁ ପ୍ରୋଟନର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଓ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ବସ୍ତୁତ୍ୱର ଅନୁପାତ ସ୍ଥିର କରିବାର ଏକ ଉତ୍ତମ ପନ୍ଥା ହୋଇଅଛି ।

ସେହିପରି, ଦ୍ୱି ଆୟନୀଭୂତ ଲିଥିୟମରୁ ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ସମସ୍ତ ଆବୃତ୍ତିକୁ ପରେ ଗୁଣନ କଲେ ମିଳୁଥିବା ଆବୃତ୍ତି ବିକିରିତ ହୋଇଥାଏ । ତ୍ରିଆୟନୀଭୂତ ବେରିଲିୟମ 16 ଅନୁପାତରେ ବଢ଼ାଇ ସେହି ଆବୃତ୍ତିସବୁ ବିକିରଣ କରିଥାଏ । ଏହିପରି ଅନ୍ୟସବୁ

ପରମାଣୁ ପାଇଁ ହିସାବ କରାଯାଇ ପାରିବ । ଚତୁଃଆୟନୀଭୂତ ବୋରନ (Z = 5)ର ଲିମାନ ସିରିଜର ପ୍ରଥମରେଖା ଏଲଡ଼ନ୍ 48·585A°ଠାରେ ପାଇଥିଲେ । ଏହାର ଆବୃତ୍ତି ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ପ୍ରଥମ ଲିମାନ ରେଖାର 25·04 ଗୁଣ । ଯେଉଁ ପରମାଣୁ ଓ ଆୟନ-ମାନଙ୍କର ଏକାପ୍ରକାରର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସଂଖ୍ୟା ସେମାନଙ୍କର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ସମତା ସାରି ପିରିଅଡ଼ିକ୍ ଟେବୁଲରେ ଦେଖାଯାଏ । ଏକା ସଂଖ୍ୟକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଥିବା ପରମାଣୁ ଓ ଆୟନଗୁଡ଼ିକର କ୍ରମ ବୁଝାଇବାପାଇଁ ସମଇଲେକ୍ଟ୍ରୋନୀୟ କ୍ରମ ପଦଟି ବ୍ୟବହାର କରାଯାଏ । ତେଣୁ H, He^+, Li^{++}, Be^{3+}, B^{4+} ଇତ୍ୟାଦି ଏକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବିଶିଷ୍ଟ ସମ-ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋନୀୟ କ୍ରମ ବୁଝାଇଥାଏ ।

9·7 ମୋସଲେଙ୍କ ନିୟମ :

1913ରେ ବୋର୍ ତାଙ୍କର ତତ୍ତ୍ୱ ପ୍ରକାଶ କରିଥିଲେ ଓ ବ୍ରାଗ୍ ମଧ୍ୟ ଏକ୍ସରେ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ମାପକର ବ୍ୟବହାର ଦର୍ଶାଇଥିଲେ । ସେହିବର୍ଷ ମୋସଲେ ବିଶିଷ୍ଟ ଏକ୍ସରେ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଶୃଙ୍ଖଳିତ ଆଲୋଚନା ଚଳାଇଥିଲେ (ଅନୁଃ ୭.୭) । Kα ରେଖାର ଆବୃତ୍ତି ଏହା ଯେଉଁ ପରମାଣୁରେ ଜନ୍ମ ଲଭୁଛି, ତା'ର କୌଣସି ଗୁଣ ସହିତ ଥିବା ସମ୍ବନ୍ଧ ବିଷୟରେ ଖୋଜି ଖୋଜି ମୋସଲେ ପ୍ରଥମେ ଦେଖିଲେ ଯେ, ଆବୃତ୍ତି ପାରମାଣବିକ ଓଜନ ସଙ୍ଗେ ସମଭାବରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହେଉନାହିଁ (ଚିତ୍ର ୭.୧୦ରେ ରେଖା A); କିନ୍ତୁ ବୋର୍ଙ୍କ ତତ୍ତ୍ୱରେ (ଏହି ତତ୍ତ୍ୱ ଠିକ୍ ସେତେବେଳେ ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ) ନିଉକ୍ଲିୟସରେ ଥିବା ଚାର୍ଜ ଅଧିକ ପ୍ରାଧାନ୍ୟ ଲାଭ କରିଥାଏ । ସମୀକରଣ (୯.୧୩) ଅନୁସାରେ ଗୋଟିଏ ଏକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବିଶିଷ୍ଟ ପରମାଣୁ ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ରେଖାର ଆବୃତ୍ତି ହେବ,

$$\nu = \frac{me^4Z^2}{8\epsilon_0^2h^3}\left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2}\right) \qquad (୯.୧୩କ)$$

ଯଦି ଆମେ $n_1 = 1$ ଓ $n_2 = 2$ ବସାଇବା ସମୀକରଣ (୯.୧୩କ)ରୁ ଆମେ ପାଇବା,

$$\nu = 0{\cdot}246 \times 10^{16} Z^2 \ H_z$$

କେବଳ Z ପାଇଁ ସାମାନ୍ୟ ସଂଶୋଧନ ଛାଡ଼ିଦେଲେ ଏହି ସମୀକରଣ, ସମୀକରଣ (୭.୨) ସଙ୍ଗେ ପ୍ରାୟ ମିଳିଯାଉଅଛି । ଏହି ସମତାରୁ ଅନୁମିତ ହେଉଛି ଯେ, K_α ରେଖା ପ୍ରାରମ୍ଭିକ $n_1 = 2$ ରୁ ଶେଷ $n_f = 1$ ଅବସ୍ଥା ମଧ୍ୟରେ ସଂକ୍ରମଣ ଫଳରେ ମିଳିଥାଏ ।

ଯେଉଁ ସୂତ୍ର ଗୋଟିଏ ଏକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବିଶିଷ୍ଟ ପରମାଣୁ ପାଇଁ ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ ହୋଇଥିଲା, ତାହା ଯେ 29 ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଯୁକ୍ତ କପର ପରମାଣୁ ପାଇଁ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହେବ, ଏହା ବଡ଼ ତାତ୍ପର୍ଯ୍ୟପୂର୍ଣ୍ଣ । ତେବେ, ଆମେ 15 ଅଧ୍ୟାୟରେ ଦେଖିବା ଯେ, ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁର $n=1$ ପାଇଁ ସର୍ବାଧିକ ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଥାଇପାରେ । K ଏକ୍ସରେ ରେଖା ଉତ୍ତେଜିତ କରିବାପାଇଁ କୌଣସିମତେ ଏଥିରୁ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଅପସାରଣ କରିବାକୁ ହେବ । ଯଦି $n=2$ ଅବସ୍ଥାରୁ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଏହି ଶୂନ୍ୟସ୍ଥାନ ପୂରଣ କରିବାପାଇଁ ସଂକ୍ରମିତ ହୁଏ, ଗୋଟିଏ K_α ଫୋଟନ ବିକିରିତ ହେବ । ବୋର୍‌ଙ୍କ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ଅନ୍ୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ବୃହତ୍ତର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ବିଶିଷ୍ଟ କକ୍ଷମାନଙ୍କରେ ରହିଥାନ୍ତି ଏବଂ ସେହି କାରଣରୁ ବିକିରିତ ଶକ୍ତିକୁ ସାମାନ୍ୟ ପ୍ରଭାବିତ କରିଥାନ୍ତି ।

K_β ରେଖାପାଇଁ $\sqrt{\nu}$ର ମୋସଲେ ଗ୍ରାଫ୍‌ର K_α ରେଖା ଅପେକ୍ଷା ଅଧିକ ଦୀର୍ଘକତା ହୋଇଥାଏ; କିନ୍ତୁ ପରମାଣୁ-ସଂଖ୍ୟା ଅକ୍ଷକୁ ମୋଟାମୋଟି ସେହି ପୂର୍ବ ସ୍ଥାନରେ କାଟିଥାଏ । ମୋସଲେ ଦେଖିଲେ ଯେ $n_f=1$ ଓ $n_i=3$ ନେଲେ ସମୀକରଣ (୯·୧୩କ) ଉଭୟରୁପେ ରେଖାଟି ଦୀର୍ଘକତାକୁ ବୁଝାଇ ଦେଇ ପାରିବ । ଏହିପରି ବୋର୍ ତତ୍ତ୍ୱ ପ୍ରକାଶିତ ହେବାର ବର୍ଷକ ମଧ୍ୟରେ ଆଉ ଗୋଟିଏ ବିରାଟ ସଫଳତା ହାସଲ କରି ପାରିଲା ।

9·8 ବୋର୍ ମାଗ୍ନେଟନ :

ବୋର୍ କକ୍ଷରେ ଗତି କରୁଥିବା ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଚୁମ୍ବକୀୟ ସଂବେଗ ରହିବା ଉଚିତ । ଗୋଟିଏ କୁଣ୍ଡଳୀରେ I ସ୍ରୋତ ଗତି କରୁଥିଲେ, ଏହାର ଚୁମ୍ବକୀୟ ସଂବେଗ μଟି I ଓ କୁଣ୍ଡଳୀର କ୍ଷେତ୍ରଫଳର ଗୁଣଫଳ ସହିତ ସମାନ ହେବ । nତମ ବୋର୍ କକ୍ଷ ପାଇଁ କ୍ଷେତ୍ରଫଳ ହେବ πr_n^2, ସ୍ରୋତ ପରିମାଣ ହେଲା (ଏକକ ସମୟରେ ଅତିକ୍ରମ କରୁଥିବା ଚାର୍ଜ ପରିମାଣ) $-e$ ଓ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ଏକକ ସମୟରେ କରୁଥିବା ସଂଖ୍ୟା । ତେଣୁ

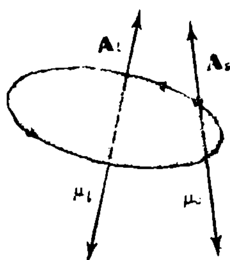
$$\mu = I\,(\pi r_n^2) = \frac{-ev}{2\pi r_n}\,\pi r_n^2$$

$$= \frac{-e}{2}\,v r_n \qquad (୯·୧୫)$$

ଏଠାରେ v ହେଲା ଇଲେକ ଟ୍ରନର ଗତିବେଗ । ଯଦି ଆମେ ଲବ ଓ ହରକୁ mରେ ଗୁଣନ କରିବା ଓ mvr_nକି କକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗ ବୋଲି ମନେ ପକାଇବା, ଆମେ ପାଇବା

$$\vec{\mu}_l = \frac{-e}{2m}\vec{\mathbf{A}}_l \qquad (୯.୧୬)$$

ଏଠାରେ $\vec{\mu}_l$ ହେଲ ଭେକ୍ଟର ଚୁମ୍ବକୀୟ ସଂବେଗ ଓ $\vec{A}_l$ ହେଲ ଭେକ୍ଟର କୌଣିକ ସଂବେଗ । ବିଯୁକ୍ତ ଚିହ୍ନ ସୂଚାଉଛି ଯେ, ଗୋଟିଏ ବିଯୁକ୍ତ ପରିକ୍ରମଣଶୀଳ ଘୂର୍ଣ ପାଇଁ (ଚିତ୍ର ୯.୭) ଏ ଦୁଇ ଭେକ୍ଟରର ଦିଗ ବିପରୀତ । ଏଠାରେ ଓ ପରେ l ପରଲେଖାଟି ବ୍ୟବହାର କରାଯାଉଛି, ଏହା କକ୍ଷୀୟ ବୋଲି ସୂଚାଇବାପାଇଁ, ଏହି ରାଶିଗୁଡ଼ିକ ଇଲେକ୍ ଟ୍ରନର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ ନୁହେ (ଅନୁ: ୯.୯) । $\vec{\mu}_l/\vec{A}_l\left(=\frac{-e}{2m}\right)$ ଅନୁପାତଟିକୁ କକ୍ଷୀୟ ଗତି ପାଇଁ ଗାଇରୋ ଚୁମ୍ବକୀୟ ଅନୁପାତ କୁହାଯାଏ ।



[ଚିତ୍ର ୯.୭ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ ଟ୍ରନର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଓ କକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗ ଏବଂ ତା ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ ଚୁମ୍ବକୀୟ ସଂବେଗ]

ଗୋଟିଏ ବୋର୍ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁର ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ $n=1$ ଓ ସମୀକରଣ (୯.୬) ଅନୁସାରେ (A_1) $n=1=\hbar$ । ସମୀକରଣ (୯.୧୬) ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ଏହି କକ୍ଷ ପାଇଁ ଚୁମ୍ବକୀୟ ସଂବେଗକୁ ବୋର୍ ମାଗ୍ନେଟନ କୁହାଯାଏ । ଏହାର ମୂଲ୍ୟ

$$\mu_B=\frac{e\hbar}{2m} \qquad (୯.୧୭)$$

ଏହାର ସଂଖ୍ୟାରେ ମୂଲ୍ୟ $9{\cdot}27\times10^{-24}\ A-m^2$

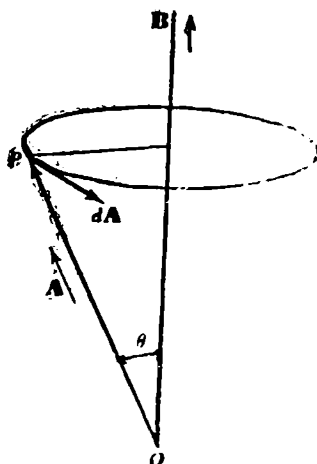
ଯଦିଓ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଦେଖାଉଛି ଯେ, ଗୋଟିଏ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ଥିବାବେଳେ ତା'ର କକ୍ଷୀୟ ଗତି ଚୁମ୍ବକୀୟ ସଂବେଗକୁ କୌଣସି ଅବଦାନ ଦିଏନାହିଁ, ଜଣାଗଲା ଯେ, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ଚୁମ୍ବକୀୟ ସଂବେଗ ସୁବିଧାଜନକ ଭାବରେ ବୋର୍ ମାଗ୍ନେଟନ ଏକକରେ ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇ ପାରିବ; ପର ଅଧ୍ୟାୟମାନଙ୍କରେ ଆମେ ଏହାକୁ ବାରମ୍ବାର ବ୍ୟବହାର କରିବା ।

ପୁରାତନ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ତତ୍ତ୍ୱର ନିମ୍ନଦତ୍ତ ବିଷୟ ଲକ୍ଷ୍ୟ କରିବାର କଥା । ମନେକର ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁର ଚୁମ୍ବକୀୟ ସଂବେଗ $\vec{\mu}$ ଏହାର ବସ୍ତୁତ୍ୱ କେନ୍ଦ୍ର ଚାରିପଟେ ଭେକ୍ଟର କୌଣିକ ସଂବେଗ $\vec{A}$ ସହ ଅନୁପାତୀ । OP (ଚିତ୍ର ୯.୮)କୁ ଟାଣି $\vec{A}$ କୁ ସୂଚାଅ, $\vec{OB}$ ଚୁମ୍ବକୀୟ କ୍ଷେତ୍ର B ଦିଗରେ ଟଣାଯାଉ ଓ ଦୁହିଁଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ θ କୋଣ ରହୁ । ତେବେ, dt ସମୟ ମଧ୍ୟରେ, ଚୁମ୍ବକ ଉପରେ ଥିବା ଟର୍କ $\vec{A}$ ସହିତ ଗୋଟିଏ ଆଧିକ୍ୟ $\vec{dA}$ ଯୋଗ କରିବ; ଏହାର ପରିମାଣ ହେବ $\mu B\sin\theta dt$ ଓ ଏହା POB ସମତଳ ପ୍ରତି ଲମ୍ବ ଭାବରେ ରହିଥିବ । ଏହି ଆଧିକ୍ୟ $\vec{A}$ର ଦିଗ ପରିବର୍ତ୍ତିତ କରିଦେବ, ମାତ୍ର ପରିମାଣ ପରିବର୍ତ୍ତିତ କରିବ ନାହିଁ । ତେଣୁ $\vec{A}$ ଟି OB ଚାରିପଟେ ଏପରି ଘୂରି ଘୂରିଯିବ ଯେ, OP ଭେକ୍ଟରର ଅଗ୍ରଭାଗ $A\sin\theta$ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ବୃତ୍ତରେ ଘୂରିବ । ଯେହେତୁ dt ସମୟ ମଧ୍ୟରେ ଏହା $\dfrac{dA}{(A\sin\theta)}=\mu B\sin\theta\ dt/(A\sin\theta)$

ବା $\mu B\, dt/A$ କୋଣ ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଘୂରୁଛି, ଏହା ଏକ କୌଣିକ ହାର

$$w = \frac{\mu B}{A}\, rad/s \qquad (୯.୧୮)$$

ରେ ଘୂରୁଅଛି ।



[ଚିତ୍ର ୯.୮ ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକୀୟ ଗାଇରୋର ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକୀୟ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଘୂରି ଘୂରି ଯିବା]

କକ୍ଷୀୟ ଗତି ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ଇଲେକଟ୍ରନ ପାଇଁ ଏହାର କକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗ


A_1 (ଏହାର ପରିମାଣ ସମୀକରଣ (୯.୧୬) ଅନୁସାରେ $-2m\mu/e$)

$$w_1 = \frac{eB}{2m} \qquad (୯.୧୯)$$

ସଂଖ୍ୟାମୂଳକ ହାରରେ ଘୂରି ଘୂରି ବୁଲିବ । ଏହା କୌଣିକ ସଂବେଗ w_1କୁ ଲରମୋର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଆବୃତ୍ତି କୁହାଯାଏ । ଲରମୋରଙ୍କ ଗୋଟିଏ ପ୍ରମେୟ ଅନୁସାରେ, ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ର ବ୍ୟବହାର କଲେ ଗୋଟିଏ ନିଉକ୍ଲିୟସର କ୍ଷେତ୍ରରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସେଟ୍‌ର ପୁରାତନ ଗତି ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇଥାଏ; ସତେ ଯେପରି ସେମାନଙ୍କର ମୂଳ ଗତି ଉପରେ w_1 କୌଣିକ ଆବୃତ୍ତିର ସମଘୂର୍ଣ୍ଣନଟିଏ ଆରୋପିତ ହୋଇଛି । $\vec{B}$ କୁ ସମାନ୍ତର

ଭାବରେ ଗୋଟିଏ ଅକ୍ଷ ଚାରିପଟେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟିର କୌଣିକ ସଂବେଗ ଯୋଗୁଁପାଇଁ କ୍ଷେତ୍ର ଉତ୍ପାଦିତ ହେବାବେଳେ ତା'ର ପ୍ରେରଣ ଫଳରେ ସାମାନ୍ୟ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇଯାଏ; କିନ୍ତୁ



ଏହି ପରିବର୍ତ୍ତନ କକ୍ଷୀୟ ଗତି ଫଳରେ ହେଉଥିବା A_lର ମୂଲ୍ୟ ତୁଳନାରେ ଏତେ କମ୍ ଯେ, ବର୍ତ୍ତମାନର ଆଲୋଚନାରେ ତାହାକୁ ହେଳା କରାଯାଇପାରେ ।

9·9 ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ :

1925 ମସିହାରେ ଗଡସ୍ମିଟ୍ ଓ ଉଲେନ୍‌ବେକ ପାରମାଣିକ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର କେତେକ ବୈଷମ୍ୟ ଦେଖାଇଥିଲେ । ଯଦି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଏହାର ବସ୍ତୁତ୍ୱ କେନ୍ଦ୍ର ଦେଇ ଯାଇଥିବା ଗୋଟିଏ ଅକ୍ଷ ଚାରିପଟେ "ଘୂରେ" ଏବଂ ଏହାର କୌଣିକ ସଂବେଗ ଓ ଚୁମ୍ବକୀୟ ସଂବେଗ ଏହି ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଗତି ସହ ସଂପୃକ୍ତ ହୁଏ, ତେବେ ଆଲ୍‌କାଲି ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ-ମାନଙ୍କର ଦ୍ୱିଧାର ସୂକ୍ଷ୍ମଗଠନ ବୁଝାଇ ଦେଇ ହେବ ବୋଲି ସେମାନେ କହିଲେ । ବୋର୍ ମଡେଲରେ ଯଦି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ନିଆଯାଏ, ତେବେ ଏହା ପୃଥିବୀର ଘଟଣା ଅନୁରୂପ ହେବ—ପୃଥିବୀ ନିଜ ଅକ୍ଷ ଚାରିପଟେ ଆହ୍ନିକ ଗତି କରିବା ସଙ୍ଗେ ସୂର୍ଯ୍ୟ ଚାରିପଟେ ବର୍ଷକୁ



ଥରେ ପ୍ରଦକ୍ଷିଣ କରିଥାଏ । ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କୌଣିକ ସଂବେଗ A_sର ଏକ ଧ୍ରୁବ ପରିମାଣ ରହିଅଛି,

$$A_s = \sqrt{\tfrac{1}{2}\left(\tfrac{3}{2}\right)}\,\hbar = \sqrt{s(s+1)}\,\hbar \qquad (୯'୨୦)$$

ଏଠାରେ sର ମୂଲ୍ୟ $\frac{1}{2}$ ।

କୌଣସି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ z ଅକ୍ଷକୁ ସମାନ୍ତର ଭାବେ ରହିଥିବା ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କୌଣିକ ସଂବେଗର ସଂଯୋଜକର ପରିମାପ ହେବ,



$$(A_s)_z = m_s\hbar = \pm\tfrac{1}{2}\hbar \qquad (୯'୨୦କ)$$

ଏଠାରେ m_s ହେଲା ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା, ଏହାର ଅନୁମତି ମୂଲ୍ୟ ହେଲା $\frac{1}{2}$ ଓ $-\frac{1}{2}$ । ତେଣୁ ଏହାର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଫଳରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଦୁଇଟି ଅନ୍ତରସ୍ଥ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥା ରହିଥାଏ, m_sର ଦୁଇଟି ମୂଲ୍ୟଦ୍ୱାରା ଏହା ସୂଚିତ ।

ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂବେଗ $\vec{A}_s$ ସହ ସଂପୃକ୍ତ ହୋଇ ଚୁମ୍ବକୀୟ ସଂବେଗ ଥାଏ,

$$\vec{\mu}_s = g_s \frac{e}{2m} \vec{A}_s$$

$$= -2\frac{e}{2m}\sqrt{(\tfrac{1}{2})(\tfrac{3}{2})}\hbar\ \vec{I}_s \qquad (୯·୨୧)$$

ଏଠାରେ g_s ଗୋଟିଏ ସଂଖ୍ୟା*, ଏହାକୁ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ g ଗୁଣକ କହନ୍ତି ଓ $\vec{I}_s$ଟି $\vec{A}_s$ ଦିଗରେ ଗୋଟିଏ ଏକକ ଭେକ୍ଟର । ଯଦି ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ର z ଦିଗକୁ ଚଳାଇଦିଏ, ସମୀକରଣ (୯·୨୦କ)ରେ ଦିଆଥିବା କ୍ୱାଣ୍ଟୀକରଣ ନିୟମ ଅନୁସାରେ $\vec{\mu}_s$ର z ସଂଯୋଜକର ଦୁଇଟିରୁ ଗୋଟିଏ ମୂଲ୍ୟ ହେବ,

$$(\vec{\mu}_s)_z \simeq \pm 2\frac{e}{2m}\frac{\hbar}{2} \simeq \pm\frac{e\hbar}{2m} \qquad (୯·୨୧କ)$$

ସମୀକରଣ (୯·୧୬) ସହିତ ତୁଳନାରୁ ଏହା ପ୍ରଧାନତଃ । ବୋର୍ ମାଗ୍ନେଟନ ବୋଲି ଜଣାଯାଉଅଛି । ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସହିତ ଏହାର କକ୍ଷୀୟ ଗତିରୁ ସୃଷ୍ଟ ଚୁମ୍ବକୀୟ ସଂବେଗର ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରର ପାରସ୍ପରିକକ୍ରିୟା ପାରମାଣବିକ ଶକ୍ତିସ୍ତରଗୁଡ଼ିକର ସୂକ୍ଷ୍ମ ଗଠନ ବୁଝିବାରେ ପ୍ରଧାନ ଅଂଶ ଗ୍ରହଣ କରିଥାଏ ।

9·10 ବୋର୍ ଅନୁସାରୀ ନିୟମ :

ବୋର୍‌ଙ୍କ ତତ୍ତ୍ୱରେ ପୁରାତନ ତତ୍ତ୍ୱରୁ ନିୟମଗୁଡ଼ିକ ନିଆଯାଇ ସେହି ନିୟମଗୁଡ଼ିକର ମୌଳିକ ସ୍ତରରେ ବିରୁଦ୍ଧାଚରଣ କରୁଥିବା ଅନୁମାନଗୁଡ଼ିକ ସେଥିସଙ୍ଗେ ତତ୍‌ପରତାର ସହିତ ଯୋଡ଼ି ଦିଆଯାଇଥିଲା । ପୁରାତନ ସ୍ଥାୟିତ୍ୱ ସମସ୍ୟାଟିକୁ ସମାଧାନ କରିବାକୁ ଯାଇ ସେ

---

* ପ୍ରକୃତରେ $g_s = 2·00230$ ଦେଖ ଅନୁ: 18·3

ଅସ୍ଥାୟିତ୍ୱର କାରଣ ଅନୁମାନ କଲେ ଯେ, ଯେତେବେଳ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ତା'ର ଗୋଟିଏ ସ୍ଥିର କକ୍ଷରେ ରହିଥିବ, ସେପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ବିକିରଣ ବା ତତ୍ସଂପୃକ୍ତ ବିକିରଣକାଣ୍ଡ ପାରମ୍ପରିକ ବିଶ୍ଳେଷା ହେବନାହିଁ । ତେଣୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ନିମ୍ନତମ ଶକ୍ତିବିଶିଷ୍ଟ ସ୍ଥିର ଅବସ୍ଥାରେ ଅନନ୍ତକାଳ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ରହିପାରିବ; ପୁରାତନ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ଲୋଡ଼ା ହେଉଥିବା କୁଣ୍ଡଳୀ ପଥରେ ଏହା ନିଉକ୍ଲିୟସ ମଧ୍ୟକୁ ପଶିଯିବନାହିଁ । ବୋର୍‌ଙ୍କ ଅନୁମାନ ଅନୁସାରେ ଗୋଟିଏ କକ୍ଷରୁ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ କକ୍ଷକୁ ସଂକ୍ରମଣ କଲାବେଳେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ କିପରି ଭାବରେ ଗତି କରିଥାଏ, ତାହା ବର୍ଣ୍ଣିତ ହୋଇନାହିଁ ।

ଏପରି ଏକ ସଙ୍କଟର ତତ୍ତ୍ୱ ସନ୍ତୋଷଜନକ ନୁହେ ବୋଲି ବହୁ ଭାବରେ ଅନୁଭବ କରାଗଲେ ମଧ୍ୟ ଏହି ତତ୍ତ୍ୱ ଅଣ୍ଟର୍ଯ୍ୟଜନକଭାବେ ସଫଳ ହୋଇଥିଲା । ପରେ ବୋର୍ ତତ୍ତ୍ୱ ପରିବର୍ତ୍ତେ ବ୍ୟବହୃତ ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ତତ୍ତ୍ୱ ବର୍ଣ୍ଣନା କରାଯିବ । ଏହି ତତ୍ତ୍ୱ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ-ପରମାଣୁପାଇଁ ଶକ୍ତିସ୍ତରଗୁଡ଼ିକର ପ୍ରାୟ ସେହି ସେହି ସେଟ୍‌ର ମୂଲ୍ୟ ଦେଇଥାଏ; କିନ୍ତୁ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗୋଟିଏ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାରେ ଥିବାବେଳେ ଏହି ତତ୍ତ୍ୱ ସଂପୂର୍ଣ୍ଣ ଭିନ୍ନ ଗୁଣ ବୁଝାଇଥାଏ । ଏହି ତତ୍ତ୍ୱରେ, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁ ମଧ୍ୟରେ ଥିଲାବେଳେ ଯେ ଗତି କରୁଥାଏ ଏହା ଅଧାଅଧି ସତ ହୁଏ; ଅନ୍ତତଃ ଏହା ଯେ ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ କକ୍ଷରେ ଗତି କରୁଥାଏ, ତାହା ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟଭାବେ କହି ହେବନାହିଁ । ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକୀର ଏପରି ଅମୂର୍ତ୍ତି ଚିନ୍ତା ଫଳରେ ମୂଳ ବୋର୍ ତତ୍ତ୍ୱ କେବଳ ଇତିହାସର ବ୍ୟାପାର ନହୋଇ, ତା'ଠାରୁ ଅଧିକ ମୂଲ୍ୟବାନ ହୋଇଅଛି ଏବଂ ପୁରାତନ ଭୌତିକୀ ଓ ଆଧୁନିକ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ମଧ୍ୟରେ ଏହା ଏକ ସେତୁ ପରି କାର୍ଯ୍ୟ କରୁଅଛି ।

ପୁରାତନ ମତ ଅନୁସାରେ ଗୋଟିଏ ବୃତ୍ତାକାର ପଥରେ ଗତିଶୀଳ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ତାର ଗତିର ଆବୃତ୍ତି ସହ ସମାନ ଆବୃତ୍ତି ବିକିରଣ କରିଥାଏ । ବୋର୍‌ଙ୍କ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ବିକିରିତ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ଆବୃତ୍ତିଗୁଡ଼ିକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର କକ୍ଷୀୟ ପରିକ୍ରମଣ ଆବୃତ୍ତିଠାରୁ ଭିନ୍ନ । ପରୋକ୍ତ ଆବୃତ୍ତି ସମୀକରଣ (୯·୫) ଓ (୯·୬)କୁ w ପାଇଁ ସମାଧାନ କଲେ ମିଳିପାରିବ । ଏଥିରୁ ମିଳିବ

$$\nu_{orb} = \frac{w}{2\pi} = \frac{me^4Z^2}{4\epsilon_0^2 h^3} \cdot \frac{1}{n^3} \qquad (୯·୨୨)$$

n_1 ଓ n_2 ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସଂକ୍ରମଣ ପାଇଁ ବିକିରିତ ଆବୃତ୍ତି ସମୀକରଣ (୯.୧୩କ)ରୁ ମିଳିବ । ଏହାକୁ ନିମ୍ନପ୍ରକାରରେ ଲେଖାଯାଇ ପାରିବ ।

$$\nu=\left(\frac{me^4Z^2}{4\epsilon_0^2h^3}\right)\left(\frac{n_1+n_2}{2n_1^2\,n_2^2}\right)(n_1-n_2)$$

$n_1>n_2$ ହୋଇଥିବାରୁ ଦେଖାଯାଇ ପାରିବ ଯେ,

$$\frac{1}{n_1^3}<\frac{n_1+n_2}{2n_1^2n_2^2}<\frac{1}{n_2^3} \qquad (୯.୨୩)$$

ତେଣୁ, ଯେତେବେଳେ $n_1-n_2=1$, ନିଷ୍ପାସିତ ବିକିରଣ ପାଇଁ ଆବୃତ୍ତି ν ପ୍ରାରମ୍ଭିକ ଓ ଶେଷ ଅବସ୍ଥାର କକ୍ଷୀୟ ସଂକ୍ରମଣ ଆବୃତ୍ତିର ମଧ୍ୟସ୍ଥଳରେ ପଡ଼ିବ, ବୃହତ୍ତର n ପାଇଁ ବିକିରିତ ଓ କକ୍ଷୀୟ ଆବୃତ୍ତିଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରାୟ ସମାନ ହୋଇଥାଏ । ଆଉ ମଧ୍ୟ, କ୍ରମାନ୍ୱୟରେ $n_1-n_2=2, 3\cdots\cdots$ ହେବାଇ, ଗୋଟିଏ ମୌଳିକ ଆବୃତ୍ତିର ବିଭିନ୍ନ ଅଧିସ୍ୱର ଅବୃତ୍ତି ଆମେ ପାଇ ପାରିବା । ତେଣୁ ଯେଉଁ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂକ୍ରମଣରେ $\triangle n>1$, ସେଗୁଡ଼ିକ ପୁରାତନ ତୋଳନରେ ଅଧିସ୍ୱର ଆବୃତ୍ତିଗୁଡ଼ିକର ଅନୁରୂପ । 1923 ମସିହାରେ ବୋର୍ ଦେଖାଇଲେ ଯେ, ଲିମିଟ୍‌ରେ ବୃହତ୍ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟାବେଳେ ପୁରାତନ ଭୌତିକୀ ଓ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଭୌତିକୀ ଏକା ଫଳ ଦେଇଥାଏ । ଏହାକୁ ବୋର୍‌ଙ୍କର ଅନୁସାଙ୍ଗ ନିୟମ କୁହାଯାଏ । ପ୍ରଥମରୁ ଯେ-ତେବେ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀର ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ମୂଳଦୁଆ ପଡ଼ି ନଥିଲା, ସେତେବେଳ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଯେକୌଣସି କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀର ଫଳ ଉପଯୁକ୍ତ ଲିମିଟ୍‌ରେ ପୁରାତନ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀର ଫଳ ସହିତ ମିଳୁଛି କି ନା ଦେଖିବା ଗୋଟିଏ ବଡ଼ ଆବଶ୍ୟକତା ଥିଲା । କେତେକ ତତ୍ତ୍ୱ ପାଇଁ ଏହା ଏକ ଦରକାରୀ ପରୀକ୍ଷାରୂପେ ଏବେ ମଧ୍ୟ ବ୍ୟବହୃତ ହେଉଅଛି ।

9·11 ବୋର୍‌ଙ୍କ ତତ୍ତ୍ୱର ପ୍ରସାରଣ :

ବୋର୍ ତାଙ୍କର ମୂଳ ପ୍ରବନ୍ଧରେ ଉଲ୍ଲେଖ କରିଥିଲେ ଯେ, ଗୋଟିଏ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନର କକ୍ଷ ଗୋଟିଏ ବୃତ୍ତ ନହୋଇ ଗୋଟିଏ ବୃତ୍ତାଭାସ ହୋଇପାରେ । କେତେକବର୍ଷ ପରେ ବୃତ୍ତାଭାସ ଆକାରର କକ୍ଷ ପାଇଁ ପୁଙ୍ଖାନୁପୁଙ୍ଖ ତତ୍ତ୍ୱ ସମରଫିଲ୍‌ଡ୍ ଗଢ଼ିଥିଲେ । ଏଥିରେ ଥିବା ଜ୍ୟାମିତିକ ଧାରଣା ଏବେ ମଧ୍ୟ କେତେକ ପରିମାଣରେ ଶିକ୍ଷଣୀୟ ହୋଇ ରହିଅଛି ।

ଗୋଟିଏ ବ୍ୟୁତ୍କ୍ରମବର୍ଗ ବଳ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରଭାବିତ ଗତିକୁ ନିୟନ୍ତ୍ରଣ କରୁଥିବା ନିୟମ ଅନୁସାରେ, ବୃତ୍ତାଭାସ ଆକାରର କକ୍ଷର ଗୋଟିଏ ନାଭି ବସ୍ତୁର କେନ୍ଦ୍ରରେ ରହେ ଓ ସଂସ୍ଥାଟିର ଶକ୍ତି କେବଳ ବୃତ୍ତାଭାସର ପ୍ରଧାନ ଅକ୍ଷ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିଥାଏ । କକ୍ଷଟି ଗୋଟିଏ ସମତଳରେ ରହେ, ତେଣୁ ଏ ଗତିକୁ ପୋଲାର ସ୍ଥାନାଙ୍କ r, θ ସାହାଯ୍ୟରେ ନିଉକ୍ଲିୟସକୁ ମୂଳବିନ୍ଦୁରେ ନେଇ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇ ପାରିବ । ତେଣୁ θ ଯେତେବେଳେ 2πଠାରୁ ବେଶୀ ହେବ, r ଏହାର ନିମ୍ନତମ ମୂଲ୍ୟଠାରୁ ବୃହତ୍ତମ ମୂଲ୍ୟ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ବଢ଼ିବ, ତାପରେ ପୁଣି ନିମ୍ନତମ ମୂଲ୍ୟକୁ କମିଆସିବ (ଚିତ୍ର ୯.୯) ।

ପୁରାତନ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଅନୁସାରେ ଅନିଷିଦ୍ଧ ବୃତ୍ତାଭାସମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ବୃତ୍ତାଭାସଗୁଡ଼ିଏ ବାଛିବାପାଇଁ ପ୍ଲାଙ୍କ ଓ ବୋର୍‌ଙ୍କଦ୍ୱାରା ବ୍ୟବହୃତ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସର୍ତ୍ତଗୁଡ଼ିକ ସମରଫିଲ୍ଡ ବ୍ୟାପକ କରିଥିଲେ । ଆମେ ଅନୁ: ୫.୬ରେ ଦେଖିଥାଉଁ ଯେ, ଗୋଟିଏ ଆବର୍ତ୍ତୀକ ଦୋଳକ (ଚିତ୍ର ୫.୫) ପାଇଁ Pକୁ xର ଫଳନ ଭାବରେ ରେଖାଚିତ୍ର ଅଙ୍କନ କଲେ ତାର କ୍ଷେତ୍ରଫଳର ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟକ ଗୁଣ ହେବ । ଏହା ପ୍ଲାଙ୍କ ଅନୁମାନ କରିଥିଲେ । ଏହି କ୍ଷେତ୍ରଫଳ $\oint P dx$ ଆକାରରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରିବ, ଏଠାରେ $\oint$ ଅର୍ଥ ଗୋଟିଏ ପୂର୍ଣ୍ଣ ଚକ୍ରରେ ସମାକଳ କରିବା । ତେଣୁ, ଗୋଟିଏ ଦୋଳକର କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥା

$$\oint P dx = nh \qquad (୯.୨୪)$$

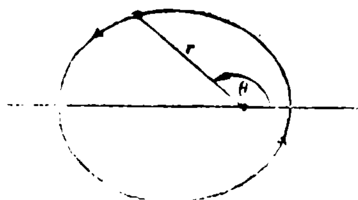
ଆକାରରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରିବ । ଗୋଟିଏ ବୋର୍ କକ୍ଷକୁ ପ୍ରୟୋଗ କରିବାପାଇଁ ଏହି ସର୍ତ୍ତକୁ ସହଜରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ କରାଯାଇପାରିବ । ଯଦି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟିର ସ୍ଥାନାଙ୍କ ଭାବରେ ଏହାର କୌଣିକ ବିସ୍ଥାପନ θ (ଚିତ୍ର ୯.୯)କୁ ନିଆଯାଏ, ବ୍ୟାପକ ସଂବେଗ P_θ କୌଣିକ ସଂବେଗ mvrରେ θରେ ଅନୁରୂପ ହେବ ଏବଂ ଆମେ ଦେଖିବା ଯେ,

$$\oint P_\theta \, d\theta = \int_0^{2\pi} mvr \, d\theta = nh \qquad (୯.୨୫)$$

ଠିକ୍ ବୋର୍‌ଙ୍କ ସର୍ତ୍ତ, ସମୀକରଣ (୯.୭) ଦେଇଥାଏ । ଉଇଲସନ (୧୯୧୫) ଓ ସମରଫିଲ୍ଡ (୧୯୧୬) ସ୍ୱତନ୍ତ୍ରଭାବରେ ସିଦ୍ଧାନ୍ତରେ ଉପନୀତ ହେଲେ ଯେ, କୌଣସି ବ୍ୟାପକ

ସ୍ଥାନାଙ୍କ q ଓ ଏହାର କଣିକୁ ଗେଡ଼ ସଂବେଗ P_q ପାଇଁ,

$$\oint P_q dq = n_q h \qquad (୯.୧୭)$$



[ଚିତ୍ର ୯.୯ ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନକୁ ଗୋଟିଏ ନାଭିରେ ରଖି ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗୋଟିଏ ବୃତ୍ତାଭାସ ପଥରେ ଗତି କରୁଅଛି]

କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସର୍ତ୍ତ ଉପଯୋଗୀ ହେବ । ଏହି ସର୍ତ୍ତକୁ ଉଇଲସନ-ସମର ଫିଲ୍ଡ଼ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସର୍ତ୍ତ ବୋଲି କୁହାଯାଏ । ପୁରାତନ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ତତ୍ତ୍ୱକୁ ପ୍ରସାରଣ କରିବାରେ ଏହି ସର୍ତ୍ତ ବହୁଳ ଭାବରେ ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇଥାଏ । (ବର୍ତ୍ତମାନ ଜଣାଗଲାଣି ଯେ, ଏହା ଗୋଟିଏ ସାଧାରଣ ଭାବରେ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହେଉଥିବା ସର୍ତ୍ତ ନୁହେଁ) । ସମର୍ଫିଲ୍ଡ଼ ତାଙ୍କର ବୃତ୍ତାଭାସ କକ୍ଷ-ଗୁଡ଼ିକଙ୍କ ପାଇଁ ନେଇଥିଲେ

$$\oint P_r dr = n' h \qquad (୯.୧୭କ)$$

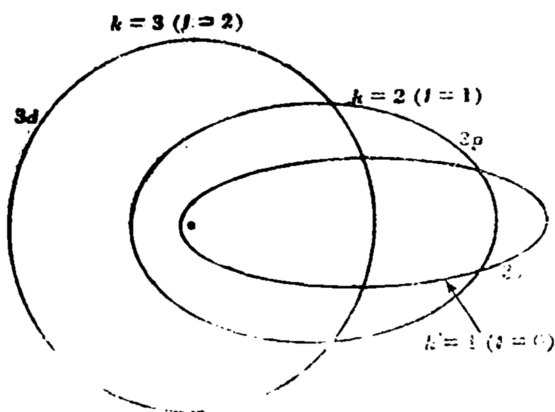
$$\oint P_\theta \; kh \qquad (୯.୧୭ଖ)$$

ଏଠାରେ n' ଓ k ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ଦୁଇଟି ଯଥାକ୍ରମେ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧୀୟ ଓ azimuthal କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା କୁହାଯାଏ ।

ସମରଫିଲ୍ଡ଼ ଅନୁମାନ କଲେ ଯେ, n'ଟି O, 1, 2, 3 ·····ମୂଲ୍ୟ ନେଇପାରେ, କିନ୍ତୁ *azimuthal* କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା kର ମୂଲ୍ୟ 1, 2, 3····· ହେବ; ଏହାର ମୂଲ୍ୟ O ହେବନାହିଁ; କାରଣ ସେତେବେଳେ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଧାର୍ମିକ ଦୋଲକ ମିଳିବ । ସେ ଦେଖାଇଲେ ଯେ, ସମୀକରଣ (୯.୧୭କ, ଖ) ଦ୍ୱାରା ଅନୁମିତ କକ୍ଷଗୁଡ଼ିକର ଅର୍ଦ୍ଧ ଦୀର୍ଘାକ୍ଷଗୁଡ଼ିକ $(n'+k)^2 a_B/Z$ ଓ ଅର୍ଦ୍ଧ ଲଘୁଅକ୍ଷଗୁଡ଼ିକ ହେଲା $(n'+k)k a_B/Z$ ।

ଏଠାରେ a_B ହେଲା ବୋର୍ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ । ଅଣଆପେକ୍ଷିକ ଘଟଣାରେ ଅନୁମିତ ଶକ୍ତିଗୁଡ଼ିକ କେବଳ ମୋଟ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା $n(n'+k)$ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିବ ଓ ବୋର୍ ତତ୍ତ୍ୱ ପାଇଁ ସେଗୁଡ଼ିକର ମୂଲ୍ୟସବୁ ସମାନ ହେବ । ତେଣୁ ଏପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ କକ୍ଷଗୁଡ଼ିକ ନାନାପ୍ରକାରର ଆକାର ପାଇବା ଛଡ଼ା ଆମେ ଏପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ କିଛି ଅଧିକା ପାଇ ନଥାଉଁ । ଗୋଟିଏ ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପରେ, $n=3$ ପାଇଁ ଆମେ $k=3$ ଓ $n'=0$ ନେଇ ଉପବୃତ୍ତ ପାଇ ପାରିବା ବା ଯେଉଁ ଦୁଇଟି କକ୍ଷର ଦୀର୍ଘାକ୍ଷ ବୃତ୍ତଟିର ବ୍ୟାସ ସହିତ ସମାନ ସେଥିରୁ ଗୋଟିଏ । ଏ ଦୁଇଟି କକ୍ଷର ଯଥାକ୍ରମେ $k=2$, $n'=1$ ବା $k=1$ $n'=2$ । ଏହି କକ୍ଷଗୁଡ଼ିକ ସ୍କେଲ ଅନୁସାରେ ଚିତ୍ର ୯·୧୦ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି ଏବଂ ସେଥିରେ ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଓ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରୋସ୍କୋପୀସ୍ଥ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ (ଅନୁ: ୯·୧) ନାମାଙ୍କିତ ମଧ୍ୟ ଦିଆଯାଇଅଛି ।

କିନ୍ତୁ ସମରଫିଲ୍ଡ ଦେଖାଇଲେ ଯେ, ଯଦି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ବସ୍ତୁତ୍ୱର ଗତି ଅନୁସାରେ ପରିବର୍ତ୍ତନକୁ ହିସାବକୁ ନିଆଯାଏ, ବୃତ୍ତାକାରରେ ଗତିବେଳର ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ବୃତ୍ତରେ ଗତି ବେଳର ଶକ୍ତି ପରିମାଣଠାରୁ ସାମାନ୍ୟ ଭିନ୍ନ ହେବ । ଏହିପରି ସେ ଏକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପରମାଣୁ ପାଇଁ ଶକ୍ତି ସ୍ତରର ବିଭାଜନ ବା ସୂକ୍ଷ୍ମଗଠନରେ ପହଞ୍ଚିଲେ । ଏହା ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ଫଳ ସଙ୍ଗେ ପାରିମାଣିକଭାବେ ମିଳିଗଲା ପରି ମନେ ହେଲା; କିନ୍ତୁ ଆକ୍ଷିକ କକ୍ଷର ଧାରଣା ଆଧୁନିକ କ୍ୱାଣ୍ଟମଯାନ୍ତ୍ରିକୀର ସଙ୍ଗେ ଖାପ ଖାଉନାହିଁ । ଏହି ଆଧୁନିକ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀକୁ



[ଚିତ୍ର ୯·୧୦ n=3 ପାଇଁ ଉର୍-ସମରଫିଲ୍ଡ କକ୍ଷଗୁଡ଼ିକ]

ଠିକ୍ ବୋଲି ଆମେ ମନେ କରୁଛୁ ଏବଂ ଏହାଦ୍ୱାରା ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ସୂକ୍ଷ୍ମ ଗଠନ ସମ୍ପର୍କ ଉହଲ୍‌ବେକ୍ ଓ ଗାଉଡ୍‌ସ୍ମିଟ୍‌ଙ୍କ ବ୍ୟାଖ୍ୟାର ଧାରଣା ଅପେକ୍ଷା ଅଧିକ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ଭାବରେ ବୁଝାଇ ପାରୁଛୁ । ଏଥି ମଧ୍ୟରେ, ବୋର୍ ଓ ଅନ୍ୟମାନେ ଏକାଧିକ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଧାରଣ କରିଥିବା ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ଏହି ଧାରଣା ପ୍ରସାର କରିବାପାଇଁ ଚେଷ୍ଟା କରୁଥିଲେ । ଏହିଗରେ ବିଶେଷ ପାରମାଣବିକ ସଫଳତା ହାସଲ କରାଯାଇନଥିଲା । ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟଭାବରେ, ହିଲିୟମ୍‌ର ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ କୌଣସି ସାମ୍ଭବ୍ୟ କକ୍ଷ ନେଇ ତା'ର ପ୍ରଥମ ଆୟନୀକରଣ ବିଭବ ପାଇଁ ଠିକ୍ ମୂଲ୍ୟ (24·6V) ବାହାର କରାଯାଇପାରି ନଥିଲା । ବ୍ୟାପକଭାବରେ କହିଲେ, ପିରିଅଡ଼ିକ୍ ଟେବୁଲରେ ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁଠାରୁ ଅନ୍ୟ ପରମାଣୁକୁ ଗଲାବେଳେ ରାସାୟନିକ ଓ ଭୌତିକ ଗୁଣମାନଙ୍କରେ ଯେଉଁ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୋଇଥାଏ, ବୋର୍ ତାହାକୁ ବୁଝିବାକୁ ଚେଷ୍ଟା କରି ବିଶେଷ ସଫଳ ହୋଇନଥିଲେ । ଏହାର ପ୍ରକୃତ କଥା ହେଲା—ଯେଉଁ ଦୁଇଟି ନିୟମ ଜଟିଳ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକୁ ବୁଝିବାପାଇଁ ଦରକାର ହୋଇଥାଏ, ସେ ଦୁଇଟି ସେତେବେଳେ ଅଜଣା ରହିଥିଲା । ସେ ଦୁଇଟି ହେଲା ପାଉଲି ନିୟମ ଓ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ । ସେଥିପାଇଁ ଆମେ ଆଉ ପୁରାତନ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ତତ୍ତ୍ୱ ଆଲୋଚନା କରିବା ନାହିଁ ।

ପ୍ରଶ୍ନାବଳୀ

୧ । ଅସ୍ପମାଲୁନ ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ବାମର୍ ସିରିଜ୍‌ର ପ୍ରଥମ ଦୁଇଟି ରେଖାର ଓ ସିରିଜ୍ ଲିମିଟ୍‌ର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ହିସାବ କର ।

ଉତ୍ତର : 164, 122, 91$m\mu$.

୨ । ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପାଇଁ ପାସେନ୍ ସିରିଜର ପ୍ରଥମ ତିନୋଟି ରେଖାର ଫୋଟନ-ମାନଙ୍କର ଶକ୍ତି ଓ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

ଉତ୍ତର : 0·66eV, 1·88μ; 0·97eV, 1·28μ; 1·13eV, 1·09μ ।

୩ । ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ପ୍ରଥମ ବୋର୍ କକ୍ଷରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ କେତେଥର ପରିଭ୍ରମଣ କରେ ? କେତେ ପରିମାଣର ସ୍ରୋତର ଏହା ଅନୁରୂପ ? ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଟିର ଗତି ଫଳରେ ପ୍ରୋଟନଠାରେ ଚୁମ୍ବକୀୟ ପ୍ରେରଣ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

ଉତ୍ତର : $6{\cdot}6 \times 10^{15} rps$; 1·05$mA$; 1·25$Wb/m^2$ ।

୪ । ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ $n = 5$ ବିଶିଷ୍ଟ ଉତ୍ତେଜିତ ଅବସ୍ଥାରେ ଅଛନ୍ତି । ଏହି ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାକୁ ଫିରିବାପୂର୍ବରୁ ବୋର୍ ମଡ଼େଲ ଅନୁସାରେ କେତେ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମରେଖା ବିକିରିତ ହେବ ? ବୃହତ୍ତମ ଓ କ୍ଷୁଦ୍ରତମ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ରେଖାମାନଙ୍କର ଶକ୍ତି ନିରୂପଣ କର ।

୫ । ଗୋଟିଏ B^{4+}ଆୟନର ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନର ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତି କେତେ ? ଯେତେବେଳେ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଟିଏ ପ୍ରଥମ ଉତ୍ତେଜିତ ସ୍ତରରୁ ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାକୁ ଯାଏ, ବିକିରିତ ହେଉଥିବା ଫୋଟନଟିର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ କେତେ ?

୬ । ଯଦି ଗୋଟିଏ କାଲସିୟମ ପରମାଣୁରୁ ($z = 20$) ଅନ୍ୟ 19ଟି ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ନିଷ୍କାସିତ ହୋଇ ସାରିଥାଏ, ସେଥିରୁ ଶେଷ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଟି ନିଷ୍କାସନ କରିବାପାଇଁ ଆବଶ୍ୟକ ହେଉଥିବା ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ସ୍ଥିର କର । କାଲ୍‌ସିୟମର k ଏକ୍‌ସରେ

ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ଉତ୍ତେଜିତ କରିବାପାଇଁ ଆବଶ୍ୟକ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ $3 \cdot 7 keV$ । ଉକ୍ତ ଦୁଇ ସ୍ଥଳରେ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ତୁଳନା କର । କାହିଁକି ପାର୍ଥକ୍ୟ ହେଉଛି ?

ଉତ୍ତର : $5 \cdot 4 KeV$; ଅନ୍ୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସବୁ ବିଭବ ପରିବର୍ତ୍ତିନ କରିଛନ୍ତି ।

୭ । ଯେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁ $n=30$ ଅବସ୍ଥାରୁ $n=29$ ଅବସ୍ଥାକୁ ସଂକ୍ରମିତ ହୁଏ, ସେତେବେଳେ ବିକିରିତ ହେଉଥିବା ଫୋଟନର ଆବୃତ୍ତି ସ୍ଥିର କର । ଏହି ଆବୃତ୍ତି ଓ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟିର ଏହାର ପ୍ରାରମ୍ଭିକ ଅବସ୍ଥାରେ କକ୍ଷୀୟ ଆବୃତ୍ତି ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରଭେଦ ଦେଖାଅ ।

୮ । ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରଥମରୁ $n=4$ ଶକ୍ତି ସ୍ତରରେ ଅଛନ୍ତି । ଯଦି ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାକୁ ଯାଆନ୍ତି ବିଭିନ୍ନ ସାମ୍ଭବ୍ୟ ସଂକ୍ରମଣ ଫଳରେ କେତୋଟି ବିଭିନ୍ନ ଶକ୍ତିର ଫୋଟନ ବିକିରିତ ହୋଇ ପାରିବ ? ଯଦି ଅନୁମାନ କରିଯାଏ ଯେ, କୌଣସି ଦତ୍ତ ଅବସ୍ଥାରୁ ସମସ୍ତ ସାମ୍ଭବ୍ୟ ନିମ୍ନଗାମୀ ସଂକ୍ରମଣ ସମ-ସ୍ମ୍ଭବରେ ସମ୍ଭବ (ଏହା ସତ୍ୟ ନୁହେଁ ।); ପ୍ରାରମ୍ଭିକ ଅବସ୍ଥା $n=4$ରେ 600 ପରମାଣୁ ଥିଲେ, ମୋଟ ବିକିରିତ ଫୋଟନମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା କେତେ ହେବ ?

୯ । ପ୍ରଥମରୁ ସ୍ଥିର ରହିଥିବା ଗୋଟିଏ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁ $n=6$ ଓ $n=1$ ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସଂକ୍ରମିତ ହେଲେ, ବିକିରିତ ହେଉଥିବା ଫୋଟନର ଶକ୍ତି ଓ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ହିସାବ କର । H ପରମାଣୁଟି ଯେଉଁ ବେଗରେ ଅପସରିଯିବ, ତାହା ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

୧୦ । ଏକ ଆୟନୀଭୂତ ହିଲିୟମରେ କେଉଁ ସଂକ୍ରମଣ ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ଲିମାନ ସିରିଜ୍‌ର ପ୍ରଥମ ରେଖା ସହିତ ପ୍ରାୟ ସମାନ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ରେଖା ଦେବ ? ଉପଯୁକ୍ତ ରିଡ୍‌ବର୍ଗ ଧ୍ରୁବ ବ୍ୟବହାର କରି ଏହି ଦୁଇରେଖା ମଧ୍ୟରେ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟର ତାରତମ୍ୟ ହିସାବ କର । ଏ ରେଖାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ କାହାର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ କମ୍ ?

୧୧ । ଦେଖାଅ ଯେ, ଯେଉଁ ଅସନ୍ନ ଭିତ୍ତିରେ ସମୀକରଣ (୯.୧୩କ) ମିଳିଥିଲା, ସେହି ଆସନ୍ନ ନେଇ $k\beta$ ପାଇଁ ମୋସଲେ ରେଖାଚିତ୍ରର କମକମ୍ପତା $k\alpha$ର କମକମ୍ପତାଠାରୁ ରେଖାଚିତ୍ରର $\sqrt{\frac{32}{27}}$ ଗୁଣ ହେବ ।

୧୨ । ଦେଖାଅ ଯେ, ଯଦି ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଓ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ୍‌ରେ ଗୋଟିଏ ବୋର୍ ପରମାଣୁରେ ବସ୍ତୁତ୍ୱ କେନ୍ଦ୍ର ଚାରିପଟେ ଘୂରେ, ସଂଶ୍ଳିଷ୍ଟ କୌଣିକ ସଂବେଗ ୧୪ ଅନୁଚ୍ଛେଦ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ଓ ଶକ୍ତିଗୁଡ଼ିକ ଅନୁ: ୯'୪ରେ ଦିଆଯାଇଥିବା ଉକ୍ତିଗୁଡ଼ିକ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହେବ, କେବଳ .ବସ୍ତୁତ୍ୱ m ସ୍ଥାନରେ ପରିଣାମୀ ବସ୍ତୁତ୍ୱ m_r ବସାଇବାକୁ ହେବ ।

୧୩ । $n = 5$ ଅବସ୍ଥାରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁ B ପ୍ରେରଣ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ର ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରବେଶ କଲାବେଳେ 5×10^7 m/s ବେଗରେ ଗତି କରୁଅଛି । ଯଦି ପରମାଣୁଟିକୁ କୁଲମ୍ବ ଆକର୍ଷଣରୁ ଅଧିକ ବା ତା ସହିତ ସମାନ ଏକ ବଳ ପ୍ରୟୋଗ କରି ଆୟନଭୂତ କରାଯାଇପାରେ, ତେବେ Bର ନିମ୍ନତମ ମୂଲ୍ୟ ସ୍ଥିର କର ।

୧୪ । ପ୍ରଥମରୁ ସ୍ଥିର ଭାବରେ ଓ ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁ ଗୋଟିଏ 100 eV ଫୋଟନ ଶୋଷଣ କରିପାରେ । ଯଦି ନିଷ୍କାସିତ ଫଟୋ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଆପତିତ ଫୋଟନ ଗତି କରୁଥିବା ଦିଗରେ ଗତି କରେ, (କ) ଫଟୋ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟିର ଗତିଜ ଶକ୍ତି ଓ ବେଗ ସ୍ଥିର କର ଓ (ଖ) ଅପସରିତ ଫୋଟନର ସଂବେଗ ଓ ଶକ୍ତି ସ୍ଥିର କର ।

୧୫ । ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗୋଟିଏ Ze ଚାର୍ଜଯୁକ୍ତ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ଚାରିପଟେ 1A° ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ବିଶିଷ୍ଟ ପଥରେ ବୃତ୍ତାକାରରେ ଗତି କରୁ । ପୁରାତନ ଭୌତିକୀ ଅନୁସାରେ ଏପରି ଏକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ $\frac{2}{3} \cdot \frac{e^2 a^2}{4\pi \epsilon_0 c^3}$ ହାରରେ ବିକିରଣ କରିବ; ଏଠାରେ a ହେଲା ଘୂର୍ଣ୍ଣର ତ୍ୱରଣ । ଯଦି ଏହା ସତ୍ୟ ହୁଏ, ବିକିରିତ ପ୍ରାରମ୍ଭିକ ଆବୃତ୍ତି ଓ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ସ୍ଥିର କର । ଦେଖାଅ ଯେ, ଏହି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପ୍ରାୟ $10^{-10}Z^{-1}s$ରେ $10^{-14}m$ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ମଧ୍ୟକୁ କୁଣ୍ଡଳାକାର ପଥ ଦେଇ ପ୍ରବେଶ କରିବ ।

ଉତ୍ତର : $\lambda = 1{\cdot}18 \times 10^{-7} Z^{-\frac{1}{2}} m.$

୧୬ । ଉଇଲସନ୍-ସମରଫିଲ୍ଡ କ୍ୱାଣ୍ଟିକତ ନିୟମ ହେଲା, (ଏହା ସବୁବେଳେ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହୁଏନାହିଁ ?) $\oint Pdq = nh$, ଏଠାରେ n ଗୋଟିଏ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା । ଯଦି ସ୍ଥିତି-ସ୍ଥାପକ ବଳ ବେଉଁକିବାବେଳେ ଏହି ନିୟମ ପାଳନ କରେ, ଦେଖାଅ ଯେ ଅନୁମିତ ଶକ୍ତି ମୂଲ୍ୟଗୁଡ଼ିକ $E = (9mg^2n^2h^2/32)^{\frac{1}{3}}$ ଆଇଗେନ ମୂଲ୍ୟ ନେଇ କ୍ୱାଣ୍ଟିକତ ହେବ ।

୧୭ । ଗୋଟିଏ ସ୍ଥିର ଥିବା ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁ K ଗତିଜ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଦ୍ୱିତୀୟ H ପରମାଣୁ ଦ୍ୱାରା ଆଘାତପ୍ରାପ୍ତ ହେଲା । ଦେଖାଅ ଯେ, ଯେଉଁ ନ୍ୟୂନତମ ଗତିଜ ଶକ୍ତି k ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ଗୋଟିକୁ ତା'ର ପ୍ରଥମ ଉତ୍ତେଜିତ ସ୍ତରକୁ ନେଇ-ଯାଏ, ତାହା ଅୟନୀକରଣ ଶକ୍ତିର 1·5 ଗୁଣ ଅଟେ ।

୧୮ । ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ନ୍ୟୂନତମ ଗତିଜ ଶକ୍ତି କେତେ ହେଲେ ସେ ପ୍ରଥମରୁ ସ୍ଥିର ଥିବା ଗୋଟିଏ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁକୁ ଉତ୍ତେଜିତ କରି ପାରିବ ? ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁଟିକୁ ଆୟନୀଭୂତ କରିବାପାଇଁ କେତେ ନ୍ୟୂନତମ ଗତିଜ ଶକ୍ତି ଦରକାର ?

୧୯ । ହିଲିୟମ ଓ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପାଇଁ ରିଡ୍‌ବର୍ଗ ଧ୍ରୁବର ମୂଲ୍ୟରୁ (ଏବଂ H Heର ପାରମାଣବିକ ଓଜନର ଅନୁପାତରୁ) ପ୍ରୋଟନର ବସ୍ତୁତ୍ୱର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ପ୍ରତି ଅନୁପାତ ସ୍ଥିର କର ।

ଦଶମ ଅଧ୍ୟାୟ

କଣିକାଗତି ଓ ବିଭିନ୍ନ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା

ଗୋଟିଏ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁରେ ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର କାର୍ଯ୍ୟ କରେ ଓ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଥାଏ । ଏକଦା ଆଶା କରାଯାଉଥିଲା ଯେ, କେବଳ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଓ ପ୍ରୋଟନକୁ ନେଇ ବୋଧହୁଏ ସମସ୍ତପ୍ରକାର ପଦାର୍ଥ ଗଢ଼ାଯାଇପାରିବ । ତେବେ, ଏହା ପ୍ରକୃତରେ ହୁଏନାହିଁ । ଏହି ଅଧ୍ୟାୟରେ ଆଧୁନିକ ଭୌତିକର ଅନ୍ୟ କେତେକ କଣିକା ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଓ ସେମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଆଲୋଚନା କରାଯିବ ।

10·1 ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କର ଆଲ୍‌ଫା ଓ ଗାମା ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ :

ଉତ୍ତେଜିତ ପରମାଣୁମାନଙ୍କରୁ ବିକିରିତ ଫୋଟନମାନଙ୍କର ଶକ୍ତିର ଆଲୋଚନା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ମାନଙ୍କର ଅନୁମିତ ଶକ୍ତି ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଜ୍ଞାନ ଲାଭ କରିବାର ଏକ ମୌଳିକ ଉତ୍ସ । ସେହିପରି, ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କରୁ α, β ଓ γ ରଶ୍ମି ଗୁଡ଼ିକର ଶକ୍ତିର ପରିମାପ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ଶକ୍ତି-ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ସ୍ଥିର କରିବାରେ ପ୍ରଧାନ ବାଟ ଦେଖାଇଥାଏ ।

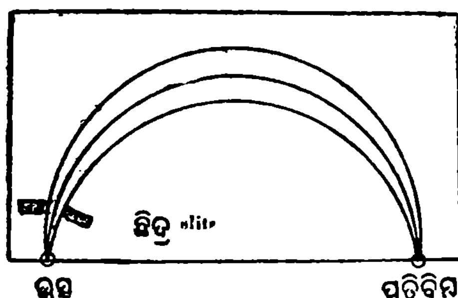
(କ) ଆଲ୍‌ଫା କଣିକା ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ :

α କଣିକାମାନଙ୍କର ଶକ୍ତି ସେମାନଙ୍କର ବିଶେଷ ସୂଚକ e/m ଜଣା ଥିଲେ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ବିକ୍ଷେପଣରୁ ସ୍ଥିର କରାଯାଇପାରିବ । ଯଦି ଉତ୍ସର ତୀବ୍ରତା ଯଥେଷ୍ଟ ହୁଏ, ଏହି

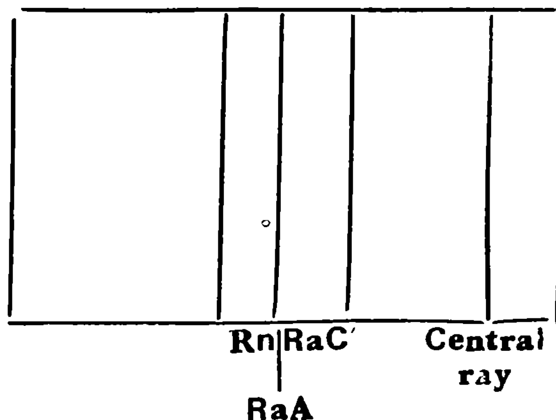
ପରିମାପ ସରଳଭାବରେ କରାଯାଇ ପାରିବ । କେତେଗୁଡ଼ିଏ ଛିଦ୍ର ସାହାଯ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ସରୁ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ନେଇ ଗୋଟିଏ ଫଟୋଗ୍ରାଫ୍ ପ୍ଲେଟ ସାହାଯ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ସମକ୍ଷେତ୍ରରେ ବିକ୍ଷେପଣକୁ ଲକ୍ଷ୍ୟ କରି ଏହା କରାଯାଇ ପାରିବ । ସୂକ୍ଷ୍ମ ପରିମାପ ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ପାତଳ ଉତ୍ସ ବ୍ୟବହାର କରିବାକୁ ହେବ । ଏହାଦ୍ୱାରା ଉତ୍ସରୁ ଉଦ୍‌ଗମ କଣିକାମାନଙ୍କର ଶକ୍ତି କ୍ଷୟ ନ୍ୟୂନତମ ହେବ । ଯେତେବେଳେ ଦୁର୍ବଳ ଉତ୍ସ ମିଳେ, ସେତେବେଳେ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଆକାରରେ ତିଆରି ବା ବିଶେଷ ଆକାରରେ ହୋଇଥିବା କ୍ଷେତ୍ର ବ୍ୟବହାର କରି ଉତ୍ସରୁ ନିର୍ଗମ ହେଉଥିବା କଣିକାଗୁଡ଼ିକ କୌଣସି ଏକ ପର୍ଦ୍ଦାର ମଧ୍ୟରେ ଫୋକସ କରାଇବା ଭଳି ଚୁମ୍ବକୀୟ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରୋଗ୍ରାଫ୍ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇଥାଏ । ଚିତ୍ର ୧୦.୧ରେ ଏପ୍ରକାରର ଗୋଟିଏ ଅର୍ଦ୍ଧ ଗୋଲକାକାର ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରୋଗ୍ରାଫ୍ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଚିତ୍ରର ସମତଳ ପ୍ରତି ଗୋଟିଏ ସମକ୍ଷେତ୍ର ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ରହିଅଛି । ଗତିପଥଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରାରମ୍ଭରୁ କେତେକ ଡ଼ିଗ୍ରୀ ତାରତମ୍ୟରେ ରହିଥିଲେ ମଧ୍ୟ 180° ବିକ୍ଷେପଣ ପରେ ପୁଣି ଏକତ୍ରିତ ହୋଇଯାଆନ୍ତି ଏବଂ ବିନ୍ଦୁ ଉତ୍ସର ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ପରିମାଣରେ ସରୁ ରେଖା ପ୍ରତିବିମ୍ବ ତିଆରି ହୋଇଥାଏ । ଯଦି ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧର ବ୍ୟୁତ୍କ୍ରମ ବର୍ଗମୂଳ ଆକାରରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୁଏ, ଗୋଟିଏ କୋନ୍‌ରେ ନିର୍ଗମ ହେଉଥିବା ରଶ୍ମିସବୁ 255° ବିକ୍ଷେପଣ ପରେ ଗୋଟିଏ ବିନ୍ଦୁ ଫୋକସକୁ ଆସି ଯାଇଥାଏ ।

ବହୁ ଆଗରୁ ଜଣା ପଡ଼ିଥିଲା ଯେ, ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କରୁ α କଣିକାସବୁ ଦଳ ଦଳ ହୋଇ ଆସନ୍ତି, ପ୍ରତି ଦଳ ଶକ୍ତିରେ ସମାଙ୍ଗୀ ହୋଇଥାଏ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ଚିତ୍ର ୧୦.୨ରେ ଗୋଟିଏ ସ୍ୱଚ୍ଛନ ଉତ୍ସରୁ ମିଳିଥିବା R_n^{222}, R_aA (Po^{218}) ଓ RaC' (Po^{214})ର ଚୁମ୍ବକୀୟ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । କେତେ ସମୟ ପାଇଁ ବିଶ୍ୱାସ କରାଯାଉଥିଲା ଯେ, ଗୋଟିଏ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ପଦାର୍ଥରୁ ବାହାରୁଥିବା ସବୁ α କଣିକାଙ୍କର ଶକ୍ତି ଏକା ଓ ଉତ୍ସରେ ଗୋଟିଏ ତେଜସ୍କ୍ରିୟମାଳା ମଧ୍ୟରେ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ପଦାର୍ଥ ରହିଥିବାରୁ ପରୀକ୍ଷାରେ ମିଳୁଥିବା ଜଟିଳତା ଦେଖାଯାଉଅଛି; କିନ୍ତୁ ପରେ ଦେଖାଗଲା ଯେ, ଏହା ସତ୍ୟ ନୁହେଁ ଓ ବହୁ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଏକାଧିକ ଦଳର α କଣିକା ବିକିରଣ କରିଥାଆନ୍ତି । ଯେଉଁ ସରଳ ଘଟଣାରେ ଗୋଟିଏ ମାତ୍ର ଦଳ ବିକିରିତ ହୋଇଥାଏ (ଉଦାହରଣ—ରାଡ଼ନ) ସେଠାରେ ମାତୃ ନିଉକ୍ଲିୟସର ସାଧାରଣ ବା ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାରୁ ଅପତ୍ୟ ନିଉକ୍ଲିୟସର ସେହିପରି

ଅବସ୍ଥାକୁ ସଂକ୍ରମଣ ଫଳରେ α-କଣିକା ବିକିରଣ ହୋଇଥାଏ ବୋଲି ବିଶ୍ୱାସ କରାଯାଏ । ଏଠାରେ ନିସୃତ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ α-କଣିକାର ଗତିଜ ଶକ୍ତିଯୁକ୍ତ ଅପସାରଣ ଶକ୍ତି ସହ ସମାନ



[ଚିତ୍ର ୧୦·୧ ଅର୍ଦ୍ଧ ବୃତ୍ତାକାର ଫୋକସିଂସହ ଚୁମ୍ବକୀୟ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରୋଗ୍ରାଫର ଗଠନ ଖଣ୍ଡ । ଏହାର ସମତଳ ପ୍ରତି ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ଗୋଟିଏ ସମଚୁମ୍ବକୀୟ କ୍ଷେତ୍ର ରହିଅଛି ।]



[ଚିତ୍ର ୧୦·୨ ଗୋଟିଏ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଉତ୍ସ ଓ ଏହାର କନ୍ୟାମାନଙ୍କରୁ ନିର୍ଗତ α-କଣିକାମାନଙ୍କର ଚୁମ୍ବକୀୟ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ । କୌଣସି ଚୁମ୍ବକୀୟ କ୍ଷେତ୍ର ବ୍ୟବହାର କରି ନଥିଲାବେଳେ ବିକ୍ଷେପଣ ନହୋଇ ମିଳୁଥିବା ରେଖା ଡାହାଣରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି]

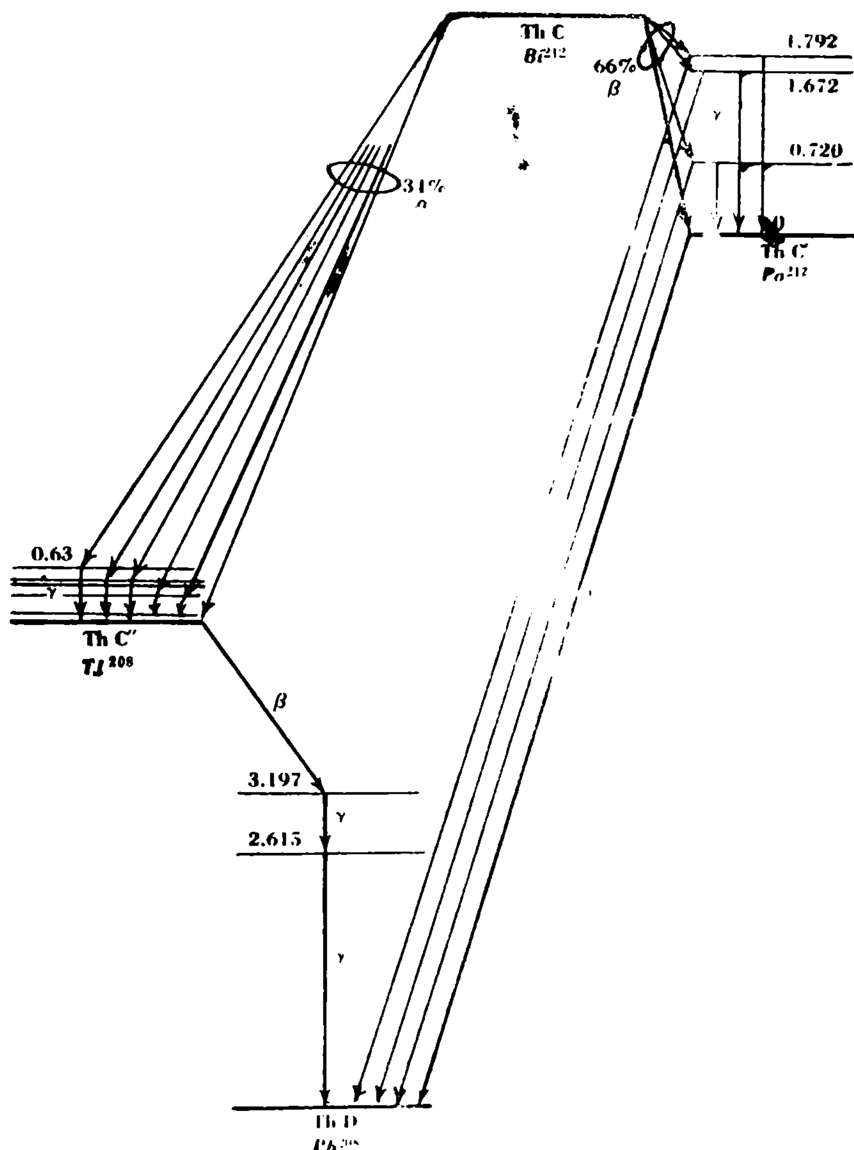
ହୁଏ । Bi^{212} ପରି ଅଧିକ ଜଟିଳ ଘଟଣାରେ (ଦେଖ ଚିତ୍ର ୧୦.୩) ସର୍ବାଧିକ ଶକ୍ତିଠାରୁ କମ୍ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଦଳମାନଙ୍କର ଅବଶିଷ୍ଟ ଅବଶିଷ୍ଟ ନିଉକ୍ଲିୟସ (Tl^{208})ର ଉତ୍ତେଜିତ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କୁ ସଂକ୍ରମଣ ବୁଝାଇଥାଏ; ଏହି ଅବଶିଷ୍ଟ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଏ ଉତ୍ତେଜିତ ଶକ୍ତିକୁ γ-ବିକିରଣ ଆକାରରେ ବିକିରଣ କରିଥାଏ । γ ରଶ୍ମି ଗୁଚ୍ଛକର ଶକ୍ତିକୁ α-ରଶ୍ମି-ଗୁଚ୍ଛକର ଶକ୍ତିସହ ତୁଳନା କରି ଏହି ଉକ୍ତିର ସତ୍ୟତା ପରୀକ୍ଷା କରାଯାଇପାରେ; ସ୍ୱଳ୍ପ-ପରିସର α-କଣିକା ସହ ନିଶ୍ଚୟ ଏକ ବା ଏକାଧିକ ଗାମାରଶ୍ମି ବିକିରିତ ହେବ; ଏହିପରି ମୋଟ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ଦୀର୍ଘ-ପରିସର α-କଣିକାମାନଙ୍କର ଶକ୍ତିସହ ସମାନ ହେବ । ଏପରି ଗୋଟିଏ ତୁଳନା ଟେବୁଲ ୧୦'୧ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି ।

ଟେବୁଲ ୧୦'୧ ThCରେ ଆଲ୍ଫା କଣିକା ଓ ଗାମାରଶ୍ମି †

α କଣିକାର ଶକ୍ତି meV	ବିଘଟନ ଶକ୍ତି meV	ଗାମାରଶ୍ମି ଶକ୍ତି	ଯୋଗଫଳ meV
6·0837	6·2007		6·2007
6·0445	6·1607	0·03995	6·2007
5·7621	5·8729	0·3267	6·1996
5·6202	5·7283	0·4709	6·1992
5 6012	5·7089	0·4908	6·1997

† ପ୍ରତିଘାତ ଗ୍ରସ୍ତରେ ଅପସରିତ ନିଉକ୍ଲିୟସ ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ସଂଶୋଧନ କରାଯାଇଅଛି ।

ThCରେ β ବିନାଶ ଦ୍ୱାରା ସୃଷ୍ଟ Thc′ (Po^{212})ରେ ପ୍ରଧାନ ଦଳ 8·776meV α-କଣିକା Thc′ ଓ ThDର ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥା ମଧ୍ୟରେ ସଂକ୍ରମଣରୁ ଜାତ ବୋଲି ମନେ କରାଯାଏ, ଏହା ସାଙ୍ଗରେ ବହୁ ଅଧିକ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଅଳ୍ପ କେତେକ α-କଣିକା ଥାନ୍ତି । ଏହି ଦୀର୍ଘ ପରିସର α-କଣିକାଗୁଡିକ ମାତୃ ନିଉକ୍ଲିୟସ Thc ର ଉତ୍ତେଜିତ ଅବସ୍ଥାରୁ ଜନ୍ମିଥାନ୍ତି । ଏପରି ଘଟିବାର କାରଣ ହେଲା, γ-ବିକିରଣ ନିଉକ୍ଲିୟସର ସମସ୍ତ ସ୍ତରରେ



[ଚିତ୍ର ୧୦.୩ $Bi^{212} - Pb^{208}$ ମାଳାର ଦୁଇଶାଖାରେ ମିଳୁଥିବା ବିକିରଣ । ଅଭିଲମ୍ବ ସ୍କେଲ ନିଷ୍କାସିତ ଶକ୍ତିକୁ ଅନୁପାତୀ । ବହୁ ପରମାଣରେ ଘଟୁଥିବା ସଂକ୍ରମଣ ମୋଟା ତୀରଦ୍ୱାରା ସୂଚିତ ହୋଇଅଛି; ହାଲୁକା ଆନୁଭୂମିକ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ଉତ୍ତେଜିତ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ-ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକୁ ସୂଚାଉଅଛି]

ମାପିଲେ ଗୋଟିଏ ମନ୍ଥର ଘଟଣା; ଅଧିକ ଶକ୍ତି ଥିଲେ ∝-କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ମାତ୍ର ନିଉକ୍ଲିୟସର ଉତ୍ତେଜନା ଲୋପ ହେବା ଆଗରୁ ନିଷ୍କାସିତ ହୋଇଯାଇଥିବ । Th'ର ଜୀବନକାଳ ଏକ ମାଇକ୍ରୋସେକେଣ୍ଡର ମାତ୍ର ସାମାନ୍ୟ ଅଂଶ ।

(ଖ) ଗାମାରଶ୍ମି :

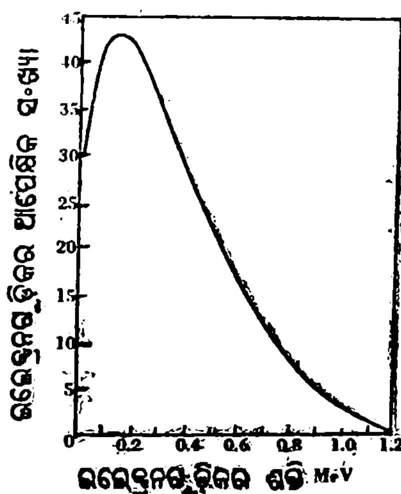
ନିଉକ୍ଲିୟର ଗାମାରଶ୍ମି ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ତୀକ୍ଷ୍ଣ ରେଖାମାନଙ୍କୁ ନେଇ ସର୍ବଦା ଗଠିତ; ପ୍ରାକୃତିକ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କରେ ଗୋଟି ଗୋଟି ହୋଇ ∝ ବା β ବିକିରଣ ସହ ମିଶିକରି γ ବିକିରଣ ଘଟିଥାଏ । ଯେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ ନିଉକ୍ଲିୟସ ∝ ବା β କଣିକା ବିକିରଣ କରିଥାଏ, ସେତେବେଳେ ଅବଶିଷ୍ଟ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଉତ୍ତେଜିତ ଅବସ୍ଥାରେ ଥିବାର ସମ୍ଭାବନା ଥାଏ । ସାଧାରଣତଃ, ଯେ ଉତ୍ତେଜିତ ଏହା ଅଧିକ ସ୍ଥାୟୀ ଅବସ୍ଥାକୁ ଯାଉଥାଏ, ନିଷ୍କାସିତ ଶକ୍ତି γ ରଶ୍ମି ଆକାରରେ ବିକିରିତ ହୋଇଥାଏ । ∝ ଓ γ ଉଭୟ ରଶ୍ମିର ରେଖାମାନଙ୍କର ତୀକ୍ଷ୍ଣତା, ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର ଶକ୍ତିଗୁଡ଼ିକ ସ୍ପଷ୍ଟ ଓ ତୀକ୍ଷ୍ଣ । ଏହି ଧାରଣା ସହିତ ଖାପ ଖାଇଥାଏ ।

ଯେଉଁ ଉତ୍ତେଜିତ ଶକ୍ତିରୁ କୌଣସି ବନ୍ଧ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଗୋଟିଏ ଗାମାରଶ୍ମି ବିକିରଣ କରିଥାଏ, ଯଦି ତାହା ଦୀର୍ଘସ୍ଥାୟୀ ହୋଇଥାଏ, ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାକୁ ସଂକ୍ରମଣ ଫଳରେ ସୃଷ୍ଟ ସମସ୍ତ ଗାମା ରଶ୍ମିର ପ୍ରାୟ ସମାନ ଶକ୍ତି ହେବ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, Zn^{67}ରୁ $93keV$ ଫୋଟନର $4{\cdot}8 \times 10^{-11}$ eV ସଂକୀର୍ଣ୍ଣ ପ୍ରସ୍ଥ ଅଛି । ତେଣୁ, ଫୋଟନଗୁଡ଼ିକୁ ଶୋଷଣ ବା ବିକିରଣ କରିବାରେ, ନିଉକ୍ଲିୟସଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରକୃତିର ସର୍ବାଧିକ "ତୀକ୍ଷ୍ଣ ମିଳନ କ୍ଷମ" ଦୋଳକମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଗଣ୍ୟ । ଗୋଟିଏ ମୁକ୍ତ Zn^{67} ଗୋଟିଏ γ ରଶ୍ମି ବିକିରଣ କରି (ସଂବେଗ ସଂରକ୍ଷଣ ହୁଏ !) ଯେଉଁ ଶକ୍ତି ସହ ଅପସରଣ କରିଥାଏ, ତାହା ଫୋଟନ ଶକ୍ତି ତୁଳନାରେ କମ୍ ହେଲେ ମଧ୍ୟ γ ରଶ୍ମି ରେଖାର ପ୍ରସ୍ଥ-ତୁଳନାରେ ଅଧିକ । ଫଳରେ, ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ Zn^{67} ପରମାଣୁକୁ ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାରୁ ଉତ୍ତେଜିତ ଅବସ୍ଥାକୁ ନେବାପାଇଁ ଫୋଟନଟିର ଯଥେଷ୍ଟ ଶକ୍ତି ନଥାଏ । 1958ରେ ମସ୍‌ବେୟର ଆବିଷ୍କାର କଲେ ଯେ, ଯଦି ସ୍ଫଟିକର ଲାଟିସ୍‌ରେ ଶୋଷଣକାରୀ ଓ ବିକିରଣକାରୀ ଉଭୟ ପରମାଣୁ ଘନିଷ୍ଠଭାବରେ ବାନ୍ଧି ହୋଇ ରହିଥାନ୍ତି, ପୁନଃ ଉତ୍ତେଜିତ ଶକ୍ତି ବିକିରିତ ବା ଶୋଷିତ ହୋଇପାରିବ । (ଅଧିକ ସ୍ପଷ୍ଟଭାବରେ କହିଲେ, ସମସ୍ତ ସ୍ଫଟିକଟି ଅପସରଣ ସଂବେଗ ଗ୍ରହଣ କରିଥାଏ ଏବଂ ଅପସରଣ

ଶକ୍ତି ହେସ୍ୱ ହୋଇଥାଏ) । ମୁସ୍‌ବେସ୍ୱର ପ୍ରଭାବର ଅବସ୍ଥାର ଗାମାରଶ୍ମି ରେଖାଗୁଡ଼ିକର ଅସାଧାରଣ ତୀକ୍ଷ୍ଣତାକୁ କାର୍ଯ୍ୟରେ ବ୍ୟବହାର କରିବାର ସମ୍ଭାବନା ପଦାର୍ଥବିତ୍‌ମାନଙ୍କୁ ସ୍ୱସ୍ତ୍ରିଦେଇ । Fe^{57}ରୁ ଉତ୍ପନ୍ନ $1\frac{1}{4}$ keV ରେଖା ସବଂଶ ମୂସ୍‌ବେସ୍ୱର ଉତ୍ସ ଭାବରେ ବ୍ୟବହୃତ ହେଉଅଛି । ଏହା ଏତେ ତୀକ୍ଷ୍ଣ ଯେ, ଏଥିପାଇଁ 1 *cm/min* ବେଗର ଗତିରେ ଡପ୍‌ଲର୍ ବିସ୍ଥାପନ ଲକ୍ଷ୍ୟ କରାଯାଇପାରେ ।

10·2 ବିଟାରଶ୍ମି ଓ ଆଣ୍ଟିନିଉଟ୍ରିନୋ :

ନଉକ୍ଲିୟସ୍‌ମାନଙ୍କରୁ କେତେକ meV ଶକ୍ତି ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଶକ୍ତି ଥାଇ ଯେଉଁ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଗୁଡ଼ିକ ବାହାରନ୍ତି ତୁଏ, ସେଗୁଡ଼ିକୁ β କଣିକା କୁହାଯାଏ । ଯଦି ଉତ୍ସର ତୀବ୍ରତା ଯଥେଷ୍ଟ ହୁଏ, β-ରଶ୍ମି ମାନଙ୍କର ଶକ୍ତି β-ରଶ୍ମି ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ମାପକ ଦ୍ୱାରା ମାପ କରାଯାଇପାରେ । $_{83}Bi^{210}$ ଉତ୍ସରୁ ମିଳୁଥିବା β ରଶ୍ମିମାନଙ୍କର ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ର ବ୍ୟବହାର କରି ବିଶ୍ଳେଷଣ କରାଯାଇ ଚିତ୍ର ୧୦.୪ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଏହି ରେଖାରୁ ଏକ

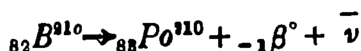


[ଚିତ୍ର ୧୦.୪ Bi^{210}ର β ରଶ୍ମି ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ଗୋଟିଏ ଧ୍ରୁବ ଶକ୍ତିବ୍ୟବଧାନ $\triangle E$ ମଧ୍ୟରେ ବାହାରିତ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ତୁଳନାତ୍ମକ ସଂଖ୍ୟା ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ଫଳନ ଭାବରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି ।]

ଚଉଡ଼ା ଓ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ β ଶକ୍ତିରାଜି ଦେଖାଯାଉଅଛି । ଏହି ବର୍ଣ୍ଣନାରୁ କେହି ଯୁକ୍ତିକରି ପାରନ୍ତି ଯେ, ଅପରେ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ବହୁ ସଂଖ୍ୟକ ଉତ୍ତେଜିତ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାକୁ ସଂକ୍ରମଣ ଫଳରେ ଏପରି ଘଟୁଅଛି, କିନ୍ତୁ ସେତେବେଳେ γ ରଶ୍ମି ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ବର୍ଣ୍ଣନ ଦେଖାଇବା ଉଚିତ; କାର୍ଯ୍ୟତଃ γ ରଶ୍ମି ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ବିଚ୍ଛିନ୍ନ ଅଟେ । ଅଭି ମଧ୍ୟ, γ ରଶ୍ମି ନଥାଇ ବହୁ ସ୍ଥଳରେ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ମିଳିଥାଏ । ଆଗରୁ ବୁଝାଯାଉଥିଲା ଯେ, ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ β ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ କୌଣସିମତେ ବିକୃତ ହୋଇଯାଇଅଛି; ଅର୍ଥାତ୍ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ଛାଡ଼ିଲାବେଳେ β କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରକୃତରେ ସମାଙ୍ଗୀ; କିନ୍ତୁ ପାରମାଣବିକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବାଦଲ ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଗଲାବେଳେ ସେମାନେ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ପରିମାଣର ଶକ୍ତି ହରାଇଥାଆନ୍ତି । ଏହା ଯେ ସତ୍ୟ ନୁହେଁ, ତାହି କାଲୋରିମାପକ ପରୀକ୍ଷାଦ୍ୱାରା 1927 ମସିହାରେ ଏଲିସ୍ ଓ ଉଷ୍ଟର ପ୍ରତିଷ୍ଠା କରିଥିଲେ । ବାହାରକୁ ଭେଦକରି ବିକିରଣ ଯାଇ ନପାରିବା ଭଳି ଯଥେଷ୍ଟ ମୋଟା ପାର୍ଶ୍ୱଯୁକ୍ତ କାଲୋରିମାପକ ବ୍ୟବହାର କରି, ସେମାନେ ପ୍ରମାଣ କଲେ ଯେ, ପ୍ରତି ବିଘଟନରୁ କାଲୋରିମାପକ ମଧ୍ୟରେ ଶୋଷିତ ହେଉଥିବା ଶକ୍ତି β ରଶ୍ମିର ହାରାହାରି ଶକ୍ତିର ଅନୁରୂପ, ତେଣୁ ସେମାନେ ବାଧ୍ୟ ହୋଇ ସିଦ୍ଧାନ୍ତ କଲେ ଯେ, ହାରାହାରି ମୂଲ୍ୟରୁ ଭିନ୍ନ β ସଂକ୍ରମଣ ଗୁଡ଼ିକ ଶକ୍ତି ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମର ବ୍ୟତିକ୍ରମ କରେ ବା ଏପରି କୌଣସି କଣିକା ବହିର୍ଗତ ହେଉଛି, ଯାହାକୁ କାଲୋରିମାପକ ମଧ୍ୟରେ ଶୋଷିତ ହେଉନାହିଁ ବା ବାହାରେ ଜଣାପଡ଼ୁନାହିଁ । ପ୍ରଥମ ପ୍ରସ୍ତାବଟିକୁ ବୋର୍ ଭଲରୂପେ ବିଚାର କରିଥିଲେ । ସେ ଅନୁମାନ କରିଥିଲେ ଯେ, ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକରେ ଶକ୍ତି ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମ କେବଳ ପରିସଂଖ୍ୟାନ ଦୃଷ୍ଟିରୁ ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇଥାଏ । ଏହି ଅପ୍ରୀତିକର ଅନୁମାନର ଭାଗ୍ୟ ଏଲିସ୍ଙ୍କର Th*c* Th*D* ବିଘଟନ ଶକ୍ତି ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ପରୀକ୍ଷାରେ ସ୍ଥିର ହୋଇଥିଲା । ଏହି ସଂକ୍ରମଣ ଦୁଇ ପ୍ରକାରରେ ଘଟିପାରେ, ଏହା ଚିତ୍ର ୧୦'୭ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । Th*c*ରୁ β ବିକିରଣ ଦ୍ୱାରା Th*c*′ ହେବ । ସେତେବେଳେ ସର୍ବାଧିକ ଶକ୍ତି (β ରଶ୍ମିର) 2·253*me*V ହେବ; Th*c*′ର ବିନାଶ ପ୍ରଧାନତଃ 8·946 *me*Vର α ସଂକ୍ରମଣ ଦ୍ୱାରା ଘଟିଥାଏ (ଏହି ଶକ୍ତି ମଧ୍ୟରେ ଅପସରଣ ଶକ୍ତି ହିସାବ କରାଯାଇଅଛି), ଏଥିରେ ମୋଟ (ସର୍ବାଧିକ) ଶକ୍ତି ପରିମାଣ 11·199*me*V ହୋଇଥାଏ । ଅନ୍ୟ ଶାଖାରେ, ଆମେ ପ୍ରଥମେ 6·203 *me*Vରେ ଗୋଟିଏ α ସଂକ୍ରମଣ ପାଇବା । ଏହାପରେ ଗୋଟିଏ β କଣିକା ସର୍ବାଧିକ ଶକ୍ତି 1·798*me*V ନେଇ ବହିର୍ଗତ ହେବ, ଏହାପରେ γ ସଂକ୍ରମଣ (Th*D*ରେ) ଗୁଡ଼ିଏ

ମୋଟରେ 3 197meV ଶକ୍ତିର ହେବ । ଏହାପରେ ମୋଟ ଶକ୍ତି ପରିବର୍ତ୍ତନ ହେବ 11·198meV । ଏଥିରୁ ଦେଖାଯାଉଛି ଯେ, ଗୋଟିଏ β ବିନାଶ ପ୍ରଣାଳୀରେ ମିଳୁଥିବା ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ସର୍ବାଧିକ β ରଶ୍ମି ଶକ୍ତି ସହିତ ସମାନ ବୋଲି ଧରନେଲେ ଶକ୍ତିର ସମତା ରକ୍ଷା କରାଯାଇପାରିବ । ପରେ କୃତ୍ରିମ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କରେ ପରୀକ୍ଷା କରି ପରେ ଏହି ଫଳ ଉତ୍ତମ ଭାବରେ ପ୍ରତିଷ୍ଠା କରାଯାଇଅଛି । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, $B^{12} \rightarrow C^{12}$ର β ବିନାଶରେ ଜ୍ଞାତ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ତାରତମ୍ୟରୁ 13·370 meV ଶକ୍ତି ନିଷ୍କାସିତ ହେବା ପରି ଜଣାଯାଉଅଛି । ଏହି ପରମାଣ ପରୀକ୍ଷା ଲବ୍ଧ β ରଶ୍ମି ଶକ୍ତି ବା 13·43±0·06meV ସହିତ ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ଭାବରେ ମିଳିଯାଉଅଛି । ଏକ୍ଷେତ୍ରରେ ହାରାହାରି β ରଶ୍ମି ଶକ୍ତି 7meVରୁ କମ୍ । ଆଉ ମଧ୍ୟ ପ୍ରତିଷ୍ଠିତ ହୋଇଅଛି ଯେ, କେବଳ ଶକ୍ତି ନୁହେଁ ସରଳରୈଖିକ ସଂବେଗ ଓ କୌଣିକ ସଂବେଗ ମଧ୍ୟ ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ β କଣିକାମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଉତ୍ତମରୂପେ ବୁଝା ପଡ଼େନାହିଁ ।

ଯଦି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସହିତ ଅନ୍ୟକୌଣସି କଣିକା ଯୁଗପତ୍‌ଭାବରେ ବହିର୍ଗତ ହୋଇଥାଏ, ମୋଟ ମିଳୁଥିବା ଶକ୍ତିରୁ ଏ କଣିକା ମଧ୍ୟ କିଛି ଅଂଶ ନେଇଯିବ ଓ β ରଶ୍ମିର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ହେବ । 1930 ମସିହାରେ ପାଉଲି ପ୍ରସ୍ତାବ କଲେ ଯେ, ଶୂନ୍ୟ ବା ଅଳ୍ପ ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଥିବା ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ କଣିକା ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସରୁ ନିସୃତ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସଙ୍ଗରେ ଆସିଥାଏ । ଏହି କଣିକାଟିର ପ୍ରଥମ ନାମ ଥିଲି "ନିଉଟ୍ରିନୋ", ଅର୍ଥାତ୍ "କ୍ଷୁଦ୍ର ସୂକ୍ଷ୍ମ ବସ୍ତୁଟି"; କିନ୍ତୁ ଏହାକୁ "ଆଣ୍ଟିନିଉଟ୍ରିନୋ" ବୋଲି ନାମ ଦେଲେ ସୁବିଧା ହେବ । ଏହାର କାରଣ ପରେ କୁହାଯିବ । ତେବେ, ଚିତ୍ର ୧୦·୪ର β ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ନିମ୍ନଦତ୍ତ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାରୁ ଜନ୍ମିବ ।



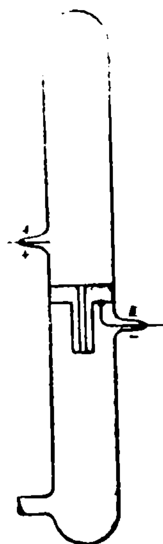
$$_{83}B^{210} \rightarrow {}_{84}Po^{210} + {}_{-1}\beta^{\circ} + \bar{\nu}$$

ଏଠାରେ ଆଣ୍ଟିନିଉଟ୍ରିନୋକୁ $\bar{\nu}$ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇଅଛି (ଏହାକୁ ତରଙ୍ଗ ସଂଖ୍ୟା ସହିତ ଭ୍ରମ କରି ନଯାଉ) । ବହୁବର୍ଷ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଏପରି ଏକ କଣିକାର ଅବସ୍ଥିତି ସମ୍ବନ୍ଧରେ ସମସ୍ତ ପ୍ରମାଣ ଅପ୍ରତ୍ୟକ୍ଷ ଥିଲା । ଉପର ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାରେ ତାହାର ପାଖରେ ଯଦି କେବଳ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ପ୍ରହେଳିକାମୟ ଓ ଅପ୍ରାପ୍ୟ ଦ୍ରୁତଗାମୀ କଣିକା ନଥାଯିବ,

ତେବେ ଶକ୍ତି, ସଂବେଗ ଓ କୌଣିକ ସଂବେଗ ସଂରକ୍ଷିତ ହୋଇପାରିବ । ତେବେ, 1953ରେ ଓ ତାପରେ ଅଧିକତର ସୂକ୍ଷ୍ମ ଯନ୍ତ୍ର ସାହାଯ୍ୟରେ କେତେକ ପରୀକ୍ଷା କରାଯିବାରୁ ଏଗୁଡ଼ିକର ଫଳ ଆଣ୍ଟିନିଉଟ୍ରିନୋ ଅନୁମାନ ସତ୍ୟ ବୋଲି ଦୃଢ଼ଭାବରେ ଜଣାଗଲା ।

10.3 ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ବସ୍ତୁତ୍ୱ :

ଅନୁ : 8·6ରେ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ଚେନ୍‌ରେ ଆମେ ଦେଖିଥାଉଁ ଯେ, ପରମାଣୁକ୍ରମାଙ୍କ ସମାନ ଦୁଇଟି ଏକା ବସ୍ତୁର ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଭିନ୍ନ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ଗୁଣ ଥାଇପାରେ । ଆଇସୋଟୋପମାନଙ୍କର ନିଉକ୍ଲିୟର ଚାର୍ଜ ସମାନ ହୋଇ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ହୋଇପାରେ; ତେଣୁ ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର ଗୁଣ ବିଚାର କରିବାରେ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ହିଁ ପ୍ରଧାନ ।



[ଚିତ୍ର ୧୦·୫ ଗୋଲ୍‌ଡଷ୍ଟାଇନଙ୍କ ବିସର୍ଜନ ନଳୀର ସାଙ୍କେତିକ ଚିତ୍ର]

ଗୋଲ୍‌ଡ୍‌ଷ୍ଟାଇନ 1886 ମସିହାରେ କ୍ରୁକ୍‌ଙ୍କ ବିସର୍ଜନ ନଳୀରେ କେନାଲ ରଶ୍ମି ଆବିଷ୍କାର କରିବା ପରେ ପାରମାଣିକ ବସ୍ତୁତ୍ୱର ସିଧାସଳଖ ସୂକ୍ଷ୍ମ ପରିମାପ ପ୍ରଣାଳୀର ପ୍ରଥମ ସୋପାନ ଗଢ଼ି ଉଠିଥିଲା । ଚିତ୍ର ୧୦·୫ରେ ଗୋଲ୍‌ଡ୍‌ଷ୍ଟାଇନଙ୍କର ନଳୀ ଦେଖାଇ ଦିଆ

ଯାଇଅଛି । ଗୋଟିଏ କାଚ କୋଠରୀରେ ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋଡ଼ ଅଛି, ଆନୋଡ଼ Aଟି କେବଳ ଗୋଟିଏ ପାଖରୁ ଯୋଡ଼ା ହୋଇଅଛି ଓ କାଥୋଡ଼୍ k ଗୋଟିଏ ଲମ୍ବା କେନାଲ ସାହାଯ୍ୟରେ କଣାକଣା କରାଯାଇଅଛି । ଯେତେବେଳେ ନଳୀଟି ଏତେ ବେଶୀ ବାୟୁଶୂନ୍ୟ କରାଯାଇଥାଏ ଯେ କ୍ରୁକ୍ସଙ୍କ ଅନ୍ଧାର ସ୍ଥାନ ସ୍ପଷ୍ଟ ଜଣାଯାଏ, ସେତେବେଳେ କାଥୋଡ଼ ରଶ୍ମି ଉପରଆଡ଼କୁ ଅଗେଇଯିବାର ଦେଖାଯାଏ ଓ ଏହା ସାଙ୍ଗକୁ କାଥୋଡ଼ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା କେନାଲଗୁଡ଼ିକ ଦେଇ ତଳଆଡ଼କୁ ଗୋଟିଏ ସ୍ରୋତ ଦେଖାଯାଏ । ଯଦି ନଳୀରେ ଅବଶିଷ୍ଟ ରହିଥିବା ଗ୍ୟାସ୍ ନିଅନ ହୋଇଥାଏ, କାଥୋଡ଼ ରଶ୍ମିମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଉତ୍ପନ୍ନ ଅଗ୍ନିଜ ସବୁଜ ନୀଳବର୍ଣ୍ଣ ଆଲୋକ ଦେଇଥାଏ; କିନ୍ତୁ କେନାଲ ରଶ୍ମି ଉଜ୍ଜ୍ୱଳ ଲାଲ ରଙ୍ଗ ହୋଇଥାଏ । କାଥୋଡ଼ ରଶ୍ମିକୁ (ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ) ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରଦ୍ୱାରା ବିକ୍ଷେପଣ କରିବା ସହଜ ହେଲେ ମଧ୍ୟ କେନାଲ ରଶ୍ମିକୁ ଏପରି ବିକ୍ଷେପଣ କରିବା ବହୁ କଷ୍ଟ ସାଧ୍ୟ । 1898ରେ ପ୍ରଥମେ ଭାର୍ଫିନ୍ ଉ୍ୱାଇନ ଗୋଟିଏ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକ ଦ୍ୱାରା ଏପରି ବିକ୍ଷେପଣ ଦେଖାଇଥିଲେ ଏବଂ ଚୁମ୍ବକୀୟ ଓ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ବିକ୍ଷେପଣ ଯୁଗପତ୍ ଭାବରେ ପ୍ରୟୋଗ କରି ସେ ଦେଖାଇଥିଲେ ଯେ, ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋଲିଟିକ ପ୍ରକୋଷ୍ଠରେ ଦେଖାଯାଉଥିବା ଅୟନମାନଙ୍କ ପାଇଁ e/mର ମୂଲ୍ୟ ଯେତେ, ଏଠାରେ e/mର ସେହି ମୂଲ୍ୟ ମିଳୁଅଛି । ଉ୍ୱାଇନ ଅତି କେଂଶ ସ୍ଥିର ଥିବାବେଳେ ପରୀକ୍ଷା ଚଳାଇଥିବାରୁ ସୂକ୍ଷ୍ମ ପରିମାପ କରି ପାରି ନଥିଲେ । ସେ e/m ମୂଲ୍ୟର ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ବିସ୍ତୃତ ଦେଖିପାରିଥିଲେ ।

ଜେ. ଜେ. ଥମସନ୍ 1906ରେ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ପରୀକ୍ଷା କରି କେନାଲ ରଶ୍ମିର ଗଠନ ଓ ଗୁଣ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ସହିତ ଆଲୋଚନା କରିଥିଲେ । ଚିତ୍ର ୧୦.୭ରେ ତାଙ୍କର ଯନ୍ତ୍ର ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ବଡ଼ ବାଲବ ନଳୀ Bରେ ଗୋଟିଏ ଆନୋଡ଼ (ଚିତ୍ରରେ ଦେଖାଯାଇନାହିଁ) ଓ ଗୋଟିଏ କାଥୋଡ଼ k ରହିଥିଲା । କାଥୋଡ଼ରେ ଗୋଟିଏ ଅତି ସରୁ ଗର୍ତ୍ତ ରହିଥିଲା । (ତାଙ୍କର କେତେକ ପରବର୍ତ୍ତୀ ପରୀକ୍ଷାରେ ଗୋଟିଏ ସମାନ୍ତର ଭିତରେ ରେଖାଟାଣି ଓ ତା ଉପରେ ଆଉ ଖଣ୍ଡିଏ ଭିତ୍ତି ପକାଇ ଥମସନ୍ ତାଙ୍କର କେନାଲ ତିଆରି କରିଥିଲେ) । କେନାଲ ରଶ୍ମିକୁ ଥମସନ ଯୁକ୍ତ ରଶ୍ମି ବୋଲି କହିଥିଲେ । ଏହି ରଶ୍ମି କେନାଲରୁ c ଚିହ୍ନିତ ସ୍ଥାନକୁ ବାହାରି ସେଠାରେ କ୍ରୁକ୍ସଙ୍କ ଭାଷା ବସ୍ତୁବୋଲା ହୋଇଥିବା ଗୋଟିଏ ପରଦାକୁ ଆଘାତ କରନ୍ତି ବା ଗୋଟିଏ ଫଟୋଗ୍ରାଫି କାଗଜ Pରେ ବାଜନ୍ତି । M_1 M_2 ଚୁମ୍ବକଟି ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଭାବରେ ରୋଧୀ $A_1 A_2$ ମେରୁ ସହିତ ଯନ୍ତ୍ର ଚୁମ୍ବକ

କ୍ଷେତ୍ର ଯୋଗାଇଥାଏ । A_1 ଓ A_2ର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଯୋଗ ଦ୍ୱାରା ଚୁମ୍ବକୀୟ କ୍ଷେତ୍ରକୁ ସମାନ୍ତର ଭାବରେ ଏକ ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ର ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଥାଏ । ଥମ୍ସନ 10^{-2} mm କୋଟୀର ଚାପ ଓ 1000ରୁ 20000 V ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ବିସର୍ଜନ ଭୋଲ୍‌ଟ ବ୍ୟବହାର କରିଥିଲେ ।

A_1A_2ଠାରେ ଚୁମ୍ବକୀୟ ଓ ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ରମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଗତି କରିବାରେ ରଶ୍ମିଗୁଡ଼ିକ z ଅକ୍ଷରେ ଓ y ଅକ୍ଷରେ ଯୁଗପତ୍ ଭାବରେ ବିକ୍ଷେପିତ ହୋଇଥାଏ (z ଅକ୍ଷଟି ଚିତ୍ରକୁ ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ଥାଏ) । ଏହି ବ୍ୟବଧାନର ଶେଷରେ ଚୁମ୍ବକୀୟ ବିକ୍ଷେପଣ ଲାଗି ବିସ୍ଥାପନ ହେବ

$$Z' = \frac{1}{2}\,\frac{Bev}{m}\left(\frac{l}{v}\right)^2 \qquad (୧୦.୧)$$

ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ବିକ୍ଷେପଣ ଲାଗି ବିସ୍ଥାପନ ପରିମାପ

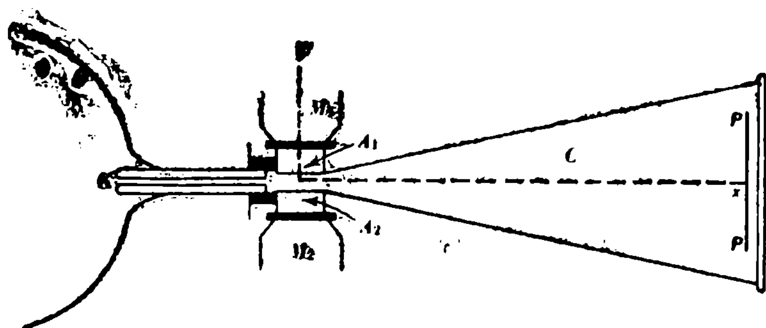
$$y' = \frac{1}{2}\,\frac{Ee}{m}\left(\frac{l}{v}\right)^2 \qquad (୧୦.୨)$$

ଏଠାରେ l ହେଲା ବ୍ୟବଧାନର ଲମ୍ବ । ବ୍ୟବଧାନକୁ ଅତିକ୍ରମ କରିବାପରେ ରଶ୍ମିଗୁଡ଼ିକ ସରଳରେଖାରେ ଗତି କରୁଥିବାରୁ PP ପରଦାରେ ବିସ୍ଥାପନ ଏହି ରାଶିଗୁଡ଼ିକ ଅନୁପାତୀ ହେବ । ପରଦାରେ ଏହାର ଆକାର ପାଇବାପାଇଁ ଆମେ ଗତିବେଗକୁ ଏଥିରୁ ନିଷ୍କାସନ କରିଥାଉ । ତେବେ ମିଳେ,

$$Z^2 = c\,\frac{B^2}{E}\cdot\frac{e}{m}\,y \qquad (୧୦.୩)$$

ଏଠାରେ c ଗୋଟିଏ ଧ୍ରୁବ, ଏହା l ଉପରେ ଓ ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ଜ୍ୟାମିତିକ ବିଷୟ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିଥାଏ । ଏହି ସମୀକରଣ ଗୋଟିଏ ପାରାବୋଲା ସୂଚାଇଥାଏ, ଏହାର ଶୀର୍ଷବିନ୍ଦୁ ମୂଳବିନ୍ଦୁଠାରେ ରହିଥାଏ; ବିଭିନ୍ନ ଗତିବେଗ ହୋଇ ଏକା m/e ହେଲେ ଆୟନଗୁଡ଼ିକ ପାରାବୋଲାର ବିଭିନ୍ନ ବିନ୍ଦୁରେ ପଡ଼ିଥାନ୍ତି, ସର୍ବାଧିକ ଗତିବେଗ ବିଶିଷ୍ଟ ଆୟନଗୁଡ଼ିକ ଶୀର୍ଷବିନ୍ଦୁରେ ନିକଟରେ ମିଳିଥାଏ । ଯଦି ଆମେ କେବଳ ଏକ ବର୍ଗ-ବିଶିଷ୍ଟ ଆୟନଗୁଡ଼ିକ କଥା ବିଚାର କରିବା, ସର୍ବାଧିକ ଗତିବେଗ ହେବ,

$$\tfrac{1}{2}mv^2_{max} = Ve$$

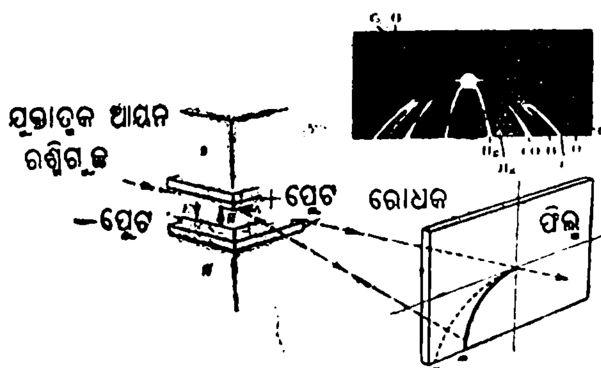


[ଚିତ୍ର ୧୦.୬ ଥମସନ୍‌ଙ୍କ ଯୁକ୍ତରଶ୍ମି ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରୋଗ୍ରାଫ୍]

ଏଠାରେ V ହେଲା ବିସର୍ଜନ ନଳୀ ଉପରେ ବିଭବ; ଉକ୍ତ y' ପାଇଁ ଥିବା ଉକ୍ତିରେ ଏହା ବସାଇଲେ, ଆମେ ଦେଖୁ ଯେ

$$y'_{min} = \frac{1}{4}\,\frac{E}{V}\,l^2$$

ତେଣୁ ପାରାବୋଲାଗୁଡ଼ିକ ଯେକୌଣସି m/e ପାଇଁ ହୋଇଥିଲେ ମଧ୍ୟ yର ଏକା ମୂଲ୍ୟଠାରେ କଟିଯାଆନ୍ତି ।



[୧୦.୭ ସମାନ୍ତର ଚୁମ୍ବକୀୟ ଓ ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ର ଦ୍ୱାରା ବିକ୍ଷେପିତ ହେଉଥିବା ଯୁକ୍ତ ଆୟନଗୁଡ଼ିକ ଦ୍ୱାରା ଫିଲ୍ମ ଉପରେ ସୃଷ୍ଟ ପାରାବୋଲା ଆକାରର ଦାଗ । ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ରକୁ ଲେଉଟାଇ ଦେଲେ ଫିଲ୍ମରେ ପାରାବୋଲାର ଅନ୍ୟ ଅର୍ଦ୍ଧ ଉତ୍ପନ୍ନ ହୋଇଥାଏ]

ବିଭିନ୍ନ ଗ୍ୟାସ ବ୍ୟବହାର କରି ମିଳିଥିବା ଫଟୋଗ୍ରାଫ କାଗଜରେ ଦାଗଗୁଡ଼ିକ ଚିତ୍ର ୧୦·୭ରେ ଦର୍ଶାଯାଇଅଛି । ଏଥିରୁ ପାରାବୋଲା ଆକାର ଓ ୮ର ଗୋଟିଏ ଧ୍ରୁବ ମୂଲ୍ୟଠାରେ ହଠାତ୍ ସମସ୍ତଙ୍କର ସମାପ୍ତି ସ୍ପଷ୍ଟ ଦେଖାଯାଉଅଛି । ଏହି ଦାଗଗୁଡ଼ିକ ଗଠିତ ହେବା ଦ୍ୱାରା ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକର ବିଚ୍ଛିନ୍ନ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଥିବାର ଅନ୍ତତଃ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକର $\frac{e}{m}$ ମୂଲ୍ୟ ବିଚ୍ଛିନ୍ନ ଏବଂ ଏହା ଗୋଟିଏ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ପରିସର ମଧ୍ୟରେ ବ୍ୟାପ୍ତ ନୁହେଁ ବୋଲି ପ୍ରମାଣ ମିଳିଲା ।

10·4 ସ୍ଥାୟୀ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥଗୁଡ଼ିକର ଆଇସୋଟୋପ :

ତରଳ ବାୟୁର ଅବଶିଷ୍ଟାଂଶର ଗଠନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ପର୍ଯ୍ୟାଲୋଚନା ସମୟରେ (୧୯୧୩) ଥମସନ୍ ଆବିଷ୍କାର କଲେ ଯେ, 20 ବସ୍ତୁତ୍ୱ ପାଇଁ ଆଶା କରାଯାଉଥିବା ନିୟନରେ ଖାର ଅବସ୍ଥାନ ସାଙ୍ଗକୁ ଗୋଟିଏ ମଳିନ, ଠିକ୍ ବର୍ଣ୍ଣୋଜ୍ଜଳ ରେଖା 22 ବସ୍ତୁତ୍ୱଠାରେ ମିଳିଥାଏ । ଏପରି ଏକ ରେଖା ମିଳିବାର ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ସାମ୍ଭବ୍ୟ ଉତ୍ସଗୁଡ଼ିକ ବାଦ ଦେବା ପରେ, ସେ ସିଦ୍ଧାନ୍ତ କଲେ ଯେ ଏହି ରେଖା ନିୟନର ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ସଂଯୋଜକ ଦ୍ୱାରା (ବସ୍ତୁତ୍ୱ 22) ସମ୍ଭବ ହୋଇଥାଏ । ଗୋଟିଏ ସ୍ଥାୟୀ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥର ଆଇସୋଟୋପୀୟ ଗଠନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଏହାହିଁ ପ୍ରଥମ ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣ । ସେଙ୍କର ଉକ୍ତି ଥିଲା ଯେ ଯେଉଁ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥଗୁଡ଼ିକର ପାରମାଣବିକ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟକ ମୂଲ୍ୟଠାରୁ ବହୁ ପରିମାଣରେ ଭିନ୍ନ ହୋଇ ଯାଉଅଛି, ସେଗୁଡ଼ିକର ଜଟିଳ ଆଇସୋଟୋପୀୟ ଗଠନ । ତାଙ୍କର ଏ ଉକ୍ତି ଉକ୍ତ ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରତିପାଦିତ ହୋଇଥିଲା ।

ଆସ୍‌ଟନ ଓ ପରେ ଡେମଷ୍ଟର, ବେନବ୍ରିଜ୍, ମାଟାଚ, ନେର୍ ଓ ଅନ୍ୟମାନେ ବସ୍ତୁ-ପରିମାପ ପ୍ରଣାଳୀକୁ ବହୁ ସୂକ୍ଷ୍ମ ଓ ଉନ୍ନତ କରିଥିଲେ । ଏ ସମସ୍ତ ଉନ୍ନତିର ମୂଳକଥା ହେଲା ଫୋକସ କରିବା ପ୍ରଣାଳୀର ବ୍ୟବହାର—ଏହା ଫଳରେ ଗ୍ରାହକଠାରେ ମିଳୁଥିବା ତୀବ୍ରତାରେ ବହୁ ପରିମାଣରେ ଉନ୍ନତି ହୋଇଥାଏ । ବ୍ୟବହାର୍ଯ୍ୟ ଆୟନ ସ୍ରୋତକୁ ବଢ଼ାଇବାରେ ଅଧିକ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ଆୟନ ଉତ୍ସ ଉତ୍ପାଦନର ମଧ୍ୟ ବହୁ ପ୍ରଭାବ ରହିଅଛି । ଏହାଦ୍ୱାରା ଉକ୍ତ ପ୍ରଣାଳୀ ଗ୍ୟାସ ଆକାରରେ ମିଳୁ ନଥିବା ବସ୍ତୁଗୁଡ଼ିକୁ ମଧ୍ୟ ପ୍ରସାର କରାଯାଇ ପାରୁଅଛି । ବସ୍ତୁତ୍ୱ-ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରୋମିଟର ବ୍ୟବହାରକୁ ସାଧାରଣ ଭାବରେ ଦୁଇ ଭାଗରେ ବିଭକ୍ତ

କରାଯାଇପାରେ; ଆଇସୋଟୋପକୁ ଚିହ୍ନିବା, ସେଗୁଡ଼ିକ ତୁଳନାତ୍ମକ ବହୁଳତା ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରିବା ଓ ସେମାନଙ୍କର ବସ୍ତୁତ୍ୱକୁ ସୂକ୍ଷ୍ମଭାବରେ ମାପ କରିବା ।

ଦୀର୍ଘ 50 ବର୍ଷ ପରିସର ମଧ୍ୟରେ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରୋଗ୍ରାଫ୍‌ର ଉନ୍ନତି ଫଳରେ ଏଗୁଡ଼ିକର ଅନୁଭବଶୀଳତାରେ ଉନ୍ନତି ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ସେଗୁଡ଼ିକର ବିଭାଜନତା ଓ ସୂକ୍ଷ୍ମତାରେ ମଧ୍ୟ ବହୁ ଉନ୍ନତି ହୋଇଥିଲା । ରାସାୟନିକ ପାରମାଣିକ ଓଜନ ପରି ଆଇସୋଟୋପଗୁଡ଼ିକର ବସ୍ତୁତ୍ୱ କ୍ୱଚିତ ପରମମାନରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇଥାଏ; କିନ୍ତୁ ସେଗୁଡ଼ିକ ଗୋଟିଏ ଗ୍ରହଣୀୟ ମାନକରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଏ । ସଂଯୁକ୍ତ ପାରମାଣିକ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଏକକ* ପାଇଁ କାର୍ବନର ସର୍ବାଧିକ ପରିମାଣରେ ମିଳୁଥିବା ଆଇସୋଟୋପ୍ C^{12}କୁ ଠିକ୍ 12 ବୋଲି ସେହି ଏକକରେ ନିଆଯାଏ । ଆନ୍ତର୍ଜାତିକ ଚୁକ୍ତି ଅନୁସାରେ ଏହାକୁ ସଂକ୍ଷେପରେ U ବୋଲି ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇଥାଏ ।) କିଲୋଗ୍ରାମ୍‌ରେ ଏହି ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଏକକର ପରମମାନ ଆଭୋଗାଡ୍ରୋ ସଂଖ୍ୟାରୁ ମିଳିପାରିବ (ଆଭୋଗାଡ୍ରୋ ସଂଖ୍ୟା ବହୁ ମୌଳିକ ଭୌତିକ ଧ୍ରୁବକରୁ ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ ହୋଇଅଛି) । ତେଣୁ

$$IU = \frac{I}{N_A} = 1{\cdot}6604 \times 10^{-27} kg$$

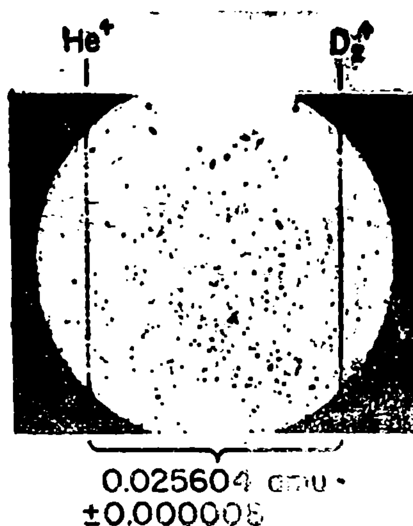
ଏବଂ IUର ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ହେବ 931·48 *meV*.

ବର୍ତ୍ତମାନ ସୂକ୍ଷ୍ମତମ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ପରିମାପ ତଥାକଥିତ ଦ୍ୱିଧାର ପ୍ରଣାଳୀ ଦ୍ୱାରା କରାଯାଉଅଛି, ଏଥିରୁ ଏକା ବସ୍ତୁତ୍ୱର ଦୁଇଟି ଆୟନକୁ ତୁଳନା କରାଯାଉଅଛି । ଚିତ୍ର ୧୦·୮ରେ $(He^4)^+ - (H_2{}^3)^+$ ଦ୍ୱିଧାର ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି, ବାମ ପାର୍ଶ୍ୱର ରେଖାଟି ଏକ

---

* ପାରମାଣିକ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଏକକ ପ୍ରଥମରୁ O^{16} ପରମାଣୁର ଏକ ଷୋଡ଼ଶାଂଶ ବୋଲି ନିଆଯାଇଥିଲା ଓ ଭୌତିକ ସ୍କେଲରେ ପାରମାଣିକ ଓଜନର ମୂଳଭାବରେ ଗୃହୀତ ହୋଇଥିଲା । ଏହା ରାସାୟନିକ ସ୍କେଲଠାରୁ ସାମାନ୍ୟ ଭିନ୍ନ ଥିଲା, ପ୍ରାକୃତିକ ଅକ୍ସିଜେନରେ ଥିବା ସାମାନ୍ୟ ପରିମାଣର O^{17} ଓ O^{18}କୁ ନେଇ ଏହି ରାସାୟନିକ ସ୍କେଲ ଗଢ଼ା । O^{16}କୁ ମୂଳ କରି ହୋଇଥିବା ପାରମାଣବିକ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଏକକ ଅପେକ୍ଷା ସଂଯୁକ୍ତ ପାରମାଣବିକ ବସ୍ତୁ. ଏକକ ଶତକଡ଼ା 0·318 ଅଧିକ ।

ଆୟନୀଭୂତ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁ ପାଇଁ – 4U ଓ ଏକ ଭୂର୍ଜ ଏବଂ ତାହାର ପାର୍ଶ୍ୱର ରେଖାଟି ଏକ ଆୟନୀଭୂତ ଡ୍ୟୁଟେରନ ଅଣୁ ଲାଗି– ଏହା ମଧ୍ୟ 4U ଓ ଏକ ଭୂର୍ଜ ।



[ଚିତ୍ର ୧୦.୮ $(He^4)^+ - (H_2^2)^+$ ଦ୍ୱିଧାରର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରୋଗ୍ରାଫ ରେକର୍ଡ଼;
। ସଂଯୁକ୍ତ ପାରମାଣବିକ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଏକକରେ ଦ୍ୱିଧାର ବ୍ୟବଧାନ ହେଲା
0·025596U]

ଏମାନଙ୍କର କେନ୍ଦ୍ରରୁ କେନ୍ଦ୍ରର ବ୍ୟବଧାନ 3000ରେ ପ୍ରାୟ 1 ଅଂଶ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ସୂକ୍ଷ୍ମଭାବରେ ମାପ କରାଯାଇପାରେ । ଯଦି ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରୋମିଟରର ବିକ୍ଷେପଣ ·ମେହି ସକ୍ଷତା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଜଣା ଥାଏ, He^4ର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଡ୍ୟୁଟେରନର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସହ ତୁଳନା କରି 0·000008U ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ସୂକ୍ଷ୍ମ ଭାବରେ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଇପାରିବ । $(H_2^1)^+ - (H^2)^+$, $(C^{12}H_4^1)^+ - (O^{16})^+$ ଓ $(H_3^2)^+ - (C^{12})^{++}$ ଦ୍ୱିଧାର ପରି ଦ୍ୱିଧାରଗୁଡ଼ିକୁ ବ୍ୟବହାର କରି କେବଳ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ତାରତମ୍ୟ ମାପଦ୍ୱାରା ଷ୍ଟାଣ୍ଡାର୍ଡ଼ C^{12} ସହିତ ଏହାକୁ ଯୋଡ଼ି ଦେଲେ ହେବ । ସାଧାରଣ ନ୍ୟୁକ୍ଲାଇଡ଼ମାନଙ୍କର କେତେକ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଏହି ପ୍ରଣାଳୀରେ ସ୍ଥିର କରି ଟେବୁଲ ୧୦·୨ରେ ଦିଆଯାଇଅଛି ।

1919ରେ ଆଷ୍ଟନଙ୍କର ପ୍ରଥମ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରୋଗ୍ରାଫ ତିଆରି ହେବାଠାରୁ 1922 ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ 27ଟି ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥର ଆଇସୋଟୋପିକ୍ ଗଠନ ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷିତ ହୋଇଥିଲା ଓ ଏହାର ପର ଦୁଇବର୍ଷ ମଧ୍ୟରେ ଆଉ 26ଟି ସମ୍ବନ୍ଧରେ ରିପୋର୍ଟ ମିଳିଥିଲା । 1953ରେ ବେଲବ୍ରିଜ୍ ଗୋଟିଏ ଟେବୁଲ ପ୍ରକାଶ କରି ପ୍ରକୃତିରେ ମିଳୁଥିବା ସବୁଠାରୁ ଅଧିକ ସଂଖ୍ୟକ ଆଇସୋ-ଟୋପଙ୍କର ଗୋଟିଏ ତାଲିକା ଦେଇଥିଲେ । ଏଥିରୁ ଅଧିକାଂଶ ବସ୍ତୁତ୍ୱ-ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରୋଗ୍ରାଫ ଦ୍ୱାରା ଆବିଷ୍କୃତ ହୋଇଥିଲା । ଯେଉଁ ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକରେ ରସାୟନିକ ପ୍ରଣାଳୀରେ ସ୍ଥିରୀକୃତ ପାରମାଣବିକ ଓଜନ ଗୋଟିଏ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟାଠାରୁ ବହୁ ପରିମାଣରେ ଭିନ୍ନ ହେଉଥିଲା, ସେ ସମସ୍ତ ଘଟଣାରେ, ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥଟିରେ ଏକାଧିକ ଆଇସୋଟୋପ ଥିବାର ଦେଖା ଯାଉଥିଲା । ଏଣିକି ଆମେ ଯେତେବେଳେ ଠିକ୍ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଆଲୋଚନା କରିବା, ସେତେବେଳେ ପାରମାଣବିକ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଏକକର ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ଆଇସୋଟୋପିକ୍ ବସ୍ତୁତ୍ୱ କେତେକ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟକ ଗୁଣ ହେବ ବୋଲି ଆଶା କରିବା ନାହିଁ; କିନ୍ତୁ ସମସ୍ତ ସ୍ଥାୟୀ ଆଇସୋଟୋପର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଗୋଟିଏ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟାର 0·1Uରୁ କମ୍ ବ୍ୟବଧାନରେ ରହିବ; ଏହି ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟାକୁ ଆମେ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଂଖ୍ୟା *A* ବୋଲି କହିବା ।

[ଟେବୁଲ ୧୦·୨, ସଂଯୁକ୍ତ ପାରମାଣବିକ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଏକକ C^{12} = 10000000ରେ ବସ୍ତୁତ୍ୱ]

ନିଉକ୍ଲାଇଡ୍	ବସ୍ତୁତ୍ୱ	ନିଉକ୍ଲାଇଡ୍	ବସ୍ତୁତ୍ୱ	ନିଉକ୍ଲାଇଡ୍	ବସ୍ତୁତ୍ୱ
Neutron	1·008665	$_3Li^6$	6·015126	$_9F^{19}$	18·998405
Proton	1·007276	$_3Li^7$	7·016005	$_{11}Na^{23}$	22·989771
$_1H^1$	1·007825	$_4Be^9$	9·012186	$_{13}Al^{27}$	26·981539
$_1H^2$	2·014102	$_5B^{10}$	10·012939	$_{29}Cu^{63}$	62·929592
$_1H^3$	3·016050	$_5B^{11}$	11·009305	$_{47}Ag^{107}$	106·905094
$_2H^3$	3·016030	$_7N^{14}$	14·003074	$_{79}Au^{197}$	196·966541
$_2He^4$	4·002603	$_8O^{16}$	15·994915	$_{92}U^{238}$	238·050770

10.5 ନିଉକ୍ଲିୟନ :

ନିଉକ୍ଲିୟସଗୁଡ଼ିକର ଚାର୍ଜ ପ୍ରୋଟନର ଚାର୍ଜର ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟକ ଗୁଣ ହୋଇଥିବାରୁ, ଗୋଟିଏ ନିଉକ୍ଲିୟସର ପାରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା Z ହେଲେ ସେଥିରେ Zଟି ପ୍ରୋଟନ ଅଛି ବୋଲି ଅନୁମାନ କରିବା ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ଓ ଫଳପ୍ରଦ । ଆମେ ଉପରେ ଦେଖିଆସିଛେ ଯେ, ସମସ୍ତ ପାରମାଣବିକ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ପାରମାଣବିକ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଏକକରେ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା Aର ଖୁବ୍ ପାଖାପାଖି; କିନ୍ତୁ A ହେଲା ମୋଟାମୋଟି Zର ଦୁଇଗୁଣ । 1920ରେ ରୁଥରଫୋର୍ଡ ପ୍ରସ୍ତାବ ଦେଲେଯେ, ଠିକ ପ୍ରୋଟନର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସହ ପ୍ରାୟ ସମାନ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ କଣିକା ଥାଇପାରେ । ଏହାର କୌଣସି ଚାର୍ଜ ନଥିବ । ଏହି କଣିକାର ନାମ ନିଉଟ୍ରନ ଓ ଏହା 1932ରେ ଆବିଷ୍କୃତ ହୋଇଥିଲା । ବର୍ତ୍ତମାନ ଆମେ ଯେକୌଣସି ନିଉକ୍ଲିୟସ Z ପ୍ରୋଟନ ଓ $A-Z$ ନିଉଟ୍ରନକୁ ନେଇ ଗଠିତ ବୋଲି ଧରି ନେଉଛୁ ।

ପ୍ରୋଟନ ଓ ନିଉଟ୍ରନ ଉଭୟଙ୍କୁ ନିଉକ୍ଲିୟନ ବୋଲି କୁହାଯାଉଅଛି । ନିଉକ୍ଲିୟସର ଗଠନର ତାତ୍ତ୍ୱିକ ଆଲୋଚନାରେ ପ୍ରୋଟନ ଓ ନିଉଟ୍ରନକୁ "ନିଉକ୍ଲିୟନ"ର ଭିନ୍ନ ଚାର୍ଜ ଅବସ୍ଥା ବୋଲି ଧରିନେବା ସାଧାରଣ କଥା । ପ୍ରୋଟନ ଓ ନିଉଟ୍ରନର ଆକାର ପାଖାପାଖି । ସେମାନଙ୍କର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ $2\times10^{-15}\,m.$ କୋଟୀର; ଉଭୟଙ୍କର ନିଜସ୍ୱ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କୌଣିକ ସଂବେଗ ରହିଛି । ତେଣୁ କୌଣସି ବାହ୍ୟ କ୍ଷେତ୍ର ବ୍ୟବହାର କଲେ ସେହିଗରେ ଏହାର ସଂଯୋଜକ $+\frac{\hbar}{2}$ ବା $-\frac{\hbar}{2}$ ହେବ ।

ପ୍ରୋଟନର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସହ ଏକ ସାମାନ୍ୟ ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ (ଅନୁ: ୯·୮) ରହିଅଛି ।

$$\mu_P = 1{\cdot}521\times10^{-8}\ \text{ବୋର୍ ମାଗ୍ନେଟନ}$$

$$= 2.79275\frac{e\hbar}{2M_P} \qquad (୧୦{\cdot}୪)$$

ଏଠାରେ M_P ହେଲା ପ୍ରୋଟନର ବସ୍ତୁତ୍ୱ । ନିଉକ୍ଲିୟସର ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣକୁ $\frac{e\hbar}{2M_P}$ ଏକକରେ ମାପ କରିବା ପ୍ରଥା ପ୍ରଚଳିତ, ଏହାକୁ ନିଉକ୍ଲିୟର ମାଗ୍ନେଟନ କୁହାଯାଏ ।

ସେହିପରି ନିଉଟ୍ରନର ଚାର୍ଜ ନଥିଲେ ମଧ୍ୟ ପ୍ରୋଟନର ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ସହିତ ତୁଳନୀୟ, ମାତ୍ର ବିପରୀତ ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ରହିଅଛି ।

$\mu_n = -1{\cdot}91315$ ନିଉକ୍ଲିୟ ମାଗ୍ନେଟନ (୧୦·୪କ)

ବସ୍ତୁତଃ ସାଙ୍ଗକୁ, ପ୍ରତ୍ୟେକ ନିଉକ୍ଲିୟନ ନିଉକ୍ଲିୟସକୁ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କୌଣିକ ସଂବେଗ ଦେଇଥାନ୍ତି, କିନ୍ତୁ ଏହା ଏକ ଭେକ୍ଟର ରାଶି ଓ ପରିଣାମୀ ନିଉକ୍ଲିୟର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସାଧାରଣତଃ ବଡ଼ ନୁହେଁ । ପ୍ରକୃତରେ, ଯୁଗ୍ମ ସଂଖ୍ୟକ ପ୍ରୋଟନ ଓ ଯୁଗ୍ମସଂଖ୍ୟକ ନିଉଟ୍ରନ ହେଲେ ଏହା ଶୂନ୍ୟ ହୋଇଥାଏ । ସେହିପରି ପ୍ରତି ନିଉକ୍ଲିୟସର ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣକୁ ନିଜ ନିଜର ଅବଦାନ ଦେଇଥାନ୍ତି; ତେବେ, ପରିଣାମୀ ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ସଠିକ୍ ଭାବରେ ଗୋଟି ଗୋଟିକର ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣକୁ ଯୋଗ କରି ବାହାର କରି ହେବନାହିଁ ।

ନିଉଟ୍ରନଟି ପ୍ରୋଟନ ଅପେକ୍ଷା ବସ୍ତୁତ୍ୱରେ ସାମାନ୍ୟ ବେଶୀ ।

$M_p = 1{\cdot}6725 \times 10^{-27}\, kg = 1{\cdot}00728U$

$M_n = 1{\cdot}6748 \times 10^{-27}\, kg = 1{\cdot}00866U$

$M_p c^2 = 938\ meV$; $M_n c^2 = 939{\cdot}5\ meV$ ।

ଗୋଟିଏ ମୁକ୍ତ ନିଉଟ୍ରନ ସ୍ଥାୟୀ ନୁହେଁ, ଏହା β ବିକିରଣ କରି 12 ମିନିଟ ଅର୍ଦ୍ଧ ଜୀବନ ମଧ୍ୟରେ ନିମ୍ନ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଦ୍ୱାରା ବିନାଶ ହୋଇଥାଏ ।

$${}_0n^1 \rightarrow {}_1H^1 + {}_{-1}e^0 + \bar{\nu} \qquad (୧୦{\cdot}୫)$$

ଯଦିଓ ନିଉକ୍ଲିୟସଗୁଡ଼ିକ ଅତି ସାନ, ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ସ୍ଥିର କରିବାପାଇଁ ବହୁ ପ୍ରକାରର ମାପ ବ୍ୟବସ୍ଥା କରାଯାଇଅଛି । ପ୍ରକୃତ ମୂଲ୍ୟରେ ଯଦିଓ କେତେକ ତାରତମ୍ୟ ରହିଅଛି, ପରମାଣର କୋଟୀ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ପ୍ରତି ପ୍ରଣାଳୀରେ ଏକା ପ୍ରକାର ଫଳ ମିଳୁଅଛି । ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର ଘନଫଳ ସେମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ନିଉକ୍ଲିୟନମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା A ପ୍ରତି ମୋଟାମୋଟି ଭାବରେ ଅନୁପାତୀ । ଯଦି ଆମେ ମୋଟାମୋଟି ଗୋଲକାକାର ବୋଲି ଏହାକୁ ଧରେଲେ, ଆମେ ଦେଖିବା ଯେ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଂଖ୍ୟା

A ବିଶିଷ୍ଟ ନିଉକ୍ଲିୟସର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ହେବ,

$$r = 1{\cdot}2 \times 10^{-15} \sqrt[3]{A}$$

$$m = 1{\cdot}2 \sqrt[f8]{A} \quad ଫର୍ମି \qquad (୧୦·୭)$$

ସମସ୍ତ ସାଧାରଣ ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଗୁରୁତମ ନିଉକ୍ଲିୟସ ୟୁରାନିୟମ 238, ଏହାର ନିଉକ୍ଲିୟସର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ 10^{-14} mରୁ କମ୍, ସାଧାରଣ ପାରମାଣବିକ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ହେଲା 10^{-10} m । ସମସ୍ତପ୍ରକାରର ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର ଘନତ୍ୱ ମୋଟାମୋଟି ସମାନ—ପ୍ରାୟ $2 \times 10^{17} kg/m^3$.

10·6 ପଜିଟ୍ରନ :

1932 ମସିହାରେ ଆଣ୍ଡରସନ୍ ନିଭରଣିର ମେଘ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ ପର୍ଯ୍ୟାଲୋଚନାରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସହ ସମାନ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ଯୁକ୍ତଗୁର୍ଜବାନ୍ କଣିକାର ଗତିପଥ ଦେଖିବାକୁ ପାଇଲେ । ଏହି କଣିକାଗୁଡ଼ିକୁ ପଜିଟ୍ରନ କୁହାଯାଏ । ଏଗୁଡ଼ିକ ଉଚ୍ଚଶକ୍ତିଯୁକ୍ତ ଫୋଟନ ସବୁ ($h\nu > 1{\cdot}2\ meV$) ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କ ସହ ପାରସ୍ପରିକ ସ୍ୱାରତ ହେବା ଦ୍ୱାରା ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଥାଏ । ପ୍ରତ୍ୟେକ ପଜିଟ୍ରନ ସାଙ୍ଗରେ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ରହିଥାଏ । ଏହି ପ୍ରକ୍ରିୟାକୁ ନିମ୍ନମତେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରେ—

$$h\nu \rightarrow {}_1m_0c^2 + {}_{-1}m_0c^2 + K^+ + K^- \qquad (୧୦·୭କ)$$

ଏଠାରେ ${}_1m$ ଓ ${}_{-1}m$ ଯଥାକ୍ରମେ ପଜିଟ୍ରନ ଓ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଏବଂ $K^+ + K^-$ ସେମାନଙ୍କର ଗତିଜ ଶକ୍ତି । ଯେଉଁ ନିଉକ୍ଲିୟସ୍‌ର କ୍ଷେତ୍ର ମଧ୍ୟରେ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଘଟିଥାଏ । (୧୦·୭କ) ସମୀକରଣରେ ତାହା ସ୍ଥାନ ପାଏନାହିଁ; କିନ୍ତୁ ଆଉ ଗୋଟିଏ କଣିକା ସେଥିରେ ପ୍ରବେଶ କରି ସଂବେଗ ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମ ସନ୍ତୁଷ୍ଟ କରିଥାଏ ।

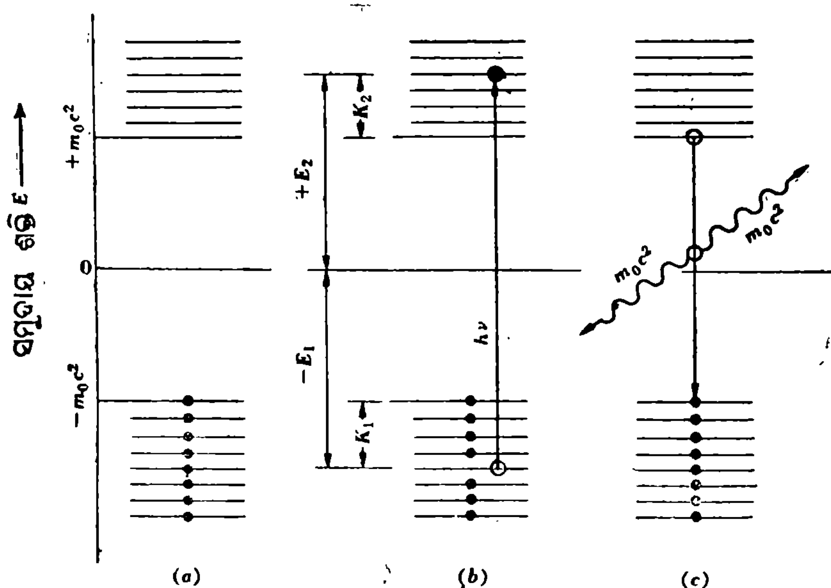
ଏହି ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାରେ ଫୋଟନର ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ଶକ୍ତି ପଜିଟ୍ରନ ଓ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱରେ ଏବଂ ସେମାନଙ୍କର ଗତିଜଶକ୍ତିରେ ପରିଣତ ହେବା ଆମେ ଦେଖୁଥାଉଁ । ଏହି ପ୍ରଣାଳୀକୁ ଯୁଗ୍ମୋତ୍ପାଦନ କୁହାଯାଏ । ପଜିଟ୍ରନର ସ୍ଥିର ଶକ୍ତି ହେଲା $0{\cdot}511\ meV$, ଏହା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ସ୍ଥିର ଶକ୍ତି ସହିତ ସମାନ । ତେଣୁ ଯୁଗ୍ମୋତ୍ପାଦନ

ପାଇଁ ଆବଶ୍ୟକ ସର୍ବନିମ୍ନ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ । 1.02meV । ଗୋଟିଏ 1·02 meVଠାରୁ ଅଧିକ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଫୋଟନ ଯୁଗ୍ମ ସୃଷ୍ଟି କରି ପାରନ୍ତି; ଫୋଟନଟିର ଯେକୌଣସି ଅଧିକ ଶକ୍ତି କଣିକାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଗତିଜ ଶକ୍ତି ରୂପରେ ବାଣ୍ଟି ହୋଇଯାଏ ।

ପଜିଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଅଳ୍ପ ସମୟ ପାଇଁ ବଞ୍ଚି ରହନ୍ତି । ବସ୍ତୁ ମଧ୍ୟରେ ଗତି କଲାବେଳେ, ସେମାନେ ଅତି ବେଗରେ ଶକ୍ତି ହରାଇ ପକାନ୍ତି । କାର୍ଯ୍ୟତଃ ସେମାନେ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସହିତ ମିଳିତ ହୋଇ ସେମାନଙ୍କର ଶକ୍ତିକୁ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ଶକ୍ତିରେ ପରିଣତ କରି ଦିଅନ୍ତି । ଏହାକୁ ଯୁଗ୍ମ ବିନାଶ କୁହାଯାଏ । ପଜିଟ୍ରନର ବେଗ କମି କମିଗଲେ, ଏହା ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନକୁ ସାଙ୍ଗରେ ନେଇ ଗୋଟିଏ ପଜିଟ୍ରନିୟମ ଗଠନ କରିପାରେ; ଏହା ଏକ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରି "ପରମାଣୁ" ଓ ଏଥିରେ ଦୁଇଟିଯାକ କଣିକା ସେମାନଙ୍କର ସାଧାରଣ ବସ୍ତୁତ୍ୱ କେନ୍ଦ୍ର ଚାରିପଟେ "ଘୂରୁଥାଏ" । ପଜିଟ୍ରନିୟମ ସାଧାରଣତଃ ଅଧିକ କୌଣିକ ସଂବେଗରେ ଗଠିତ ହୋଇଥାଏ । ଏହା ପରେ ପରେ କେତେଗୁଡ଼ିଏ ବିକିରଣକାରୀ ସଂକ୍ରମଣ କରି 6·7eV ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ପହଞ୍ଚେ । ଯଦି ଯୁଗ୍ମ ବିନାଶ ଘଟେ, ସେତେବେଳେ ପଜିଟ୍ରନିୟମର ସରଳ ରୈଖିକ ଓ କୌଣିକ ସଂବେଗ ଶୂନ ହୁଏ, ଦୁଇଟି 0·511meV ଫୋଟନ Oକୁ ପରସ୍ପରର ବିପରୀତ ଦିଗରେ ବିକିରିତ ହୁଏ; କେବଳ ଏହିପରି ଦୁଇଟି ଫୋଟନ ଦ୍ୱାରା ବିନାଶ ଘଟି (ଦେଖ, ଅନୁ:୧୦.୧୦) ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମ ସନ୍ତୁଷ୍ଟ ହୋଇପାରେ ।

1928 ମସିହାରେ ଡିରାକ୍ ତାଙ୍କର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ତତ୍ତ୍ୱ ଗଢ଼ିଲାବେଳେ ପଜିଟ୍ରନର ସ୍ଥିତି ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଅନୁମାନ କରିଥିଲେ, ଏହି ତତ୍ତ୍ୱ ଲରେଞ୍ଜ ପରିବର୍ତ୍ତନ ସମୟରେ ଅପରିବର୍ତ୍ତିତ ରହୁଥିଲା । ତାଙ୍କର ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ହେଲା $\pm\sqrt{(m_oc^2)+P^2c^2}$, ଏଠାରେ P ହେଲା ସଂବେଗ; ତେଣୁ ଏହାର ଯୁକ୍ତ ଓ ବିଯୁକ୍ତ ଶକ୍ତି ହୋଇପାରେ । ଏହି ଧାରଣା ଚିତ୍ର ୧୦·୯କୁ ଦେଖିଲେ ଅଳ୍ପ ସାମାନ୍ୟ ଅଧିକ ବୁଝିହେବ । ଏଠାରେ ଗୋଟିଏ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ସାମ୍ଭବ୍ୟ ଶକ୍ତି ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକୁ ଏକ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନତା ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇଅଛି—ଏହା ଉପରେ $E=+m_oc^2$ଠାରୁ ଓ ନିମ୍ନରେ $E=-m_oc^2$ଠାରୁ ବ୍ୟାପିଅଛି । ନିମ୍ନ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ସବୁ ପୂର୍ଣ୍ଣ ଅଛି ଏବଂ ଏହାର ଫଳ ହେଲା କେବଳ ଜଣାପଡ଼ୁଥିବା ଧ୍ରୁବ (ଅନନ୍ତ) ଋଣ ପରିମାଣ ଯୋଗ କରିବା ।

ଚିତ୍ର ୧୦'୯ଖରେ ଗୋଟିଏ $h\nu$ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ($>2m_0c^2$) γ ରଶ୍ମି ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନକୁ $-E_1$ ଶକ୍ତି ଅବସ୍ଥାରୁ $+E$ ଶକ୍ତି ଅବସ୍ଥାକୁ ଉଠାଇ ନେଇପାରେ । ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟିର ବର୍ତ୍ତମାନ ଯୁକ୍ତ ଗତିଜ ଶକ୍ତି ହେଲା $K_2=h\nu-E_1-m_0c^2$ ଏବଂ "ଗର୍ତ୍ତ"ଟି $E_1-m_0c^2$ ଗତିଜ ଶକ୍ତି (ଯୁକ୍ତ) ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ପଜିଟ୍ରନ ପରି କାର୍ଯ୍ୟ କରିବ । ଗୋଟିଏ γ କ୍ୱାଣ୍ଟମ୍ ଓ ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ନେଇ ଘଟୁଥିବା ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାରେ ସଂବେଗ ସଂରକ୍ଷଣ ହେଉ ନଥିବାରୁ, ଏହି ଘଟଣାଟି ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ କଣିକା ନିକଟରେ) ସାଧାରଣତଃ ଗୋଟିଏ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ନିକଟରେ) ଘଟିଥାଏ । ଏହି ଅନ୍ୟ କଣିକାଟି ଅଧିକ ସଂବେଗ ଗ୍ରହଣ କରିଥାଏ । ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ସହିତ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଗୋଟିଏ କୁଲମ୍ବ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଘଟିଥାଏ ଏବଂ ଯୁଗ୍ମଉତ୍ପାଦନ ପାଇଁ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ ମୋଟାମୋଟି Z^2 ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିଥାଏ ବୋଲି ହିସାବରୁ ଜଣାଯାଏ । ଏପରି ଭାବରେ ସୃଷ୍ଟ ପଜିଟ୍ରନ ତା'ର ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ରଦ୍ୱାରା



[ଚିତ୍ର ୧୦'୯, ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ଯୁକ୍ତ ଓ ବିଯୁକ୍ତ ଶକ୍ତିସ୍ତରମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସଂକ୍ରମଣ]

ପାରମାଣବିକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଘଟାଇଥାଏ, ଫଳେ ଏହା ଗତିଜ ଶକ୍ତି ହରାଇ ଶେଷରେ ଗୋଟିଏ ସ୍ଥିର ଥିବା (ବିଯୁକ୍ତ) ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ (ଚିତ୍ର ୧୦.୯କ) ସହିତ ବିନାଶ ପ୍ରଣାଳୀ ଘଟାଇଥାଏ । ଏହି ପ୍ରଣାଳୀରେ ଯଦି ଦୁଇଟି କ୍ୱାଣ୍ଟମ (ପ୍ରତ୍ୟେକର ଶକ୍ତି m_0c^2) ବିକିରିତ ହୁଏ, ତେବେ ସବେଗ ସଂରକ୍ଷିତ ହୋଇଥାଏ । ଯଦି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ନିଉକ୍ଲିୟସ ସହିତ ଦୃଢ଼ଭାବରେ ବାନ୍ଧି ହୋଇଥାଏ, ତେବେ ଏକ କ୍ୱାଣ୍ଟମବିନାଶ ଘଟି $2m_0c^2$ର ଗୋଟିଏ γ ରଶ୍ମି ବିକଶିତ ହେବା ମଧ୍ୟ ସମ୍ଭବ । ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ସହିତ ଆଘାତ ପାଇ ଗତି କଲାବେଳେ ପଜିଟ୍ରନର ମଧ୍ୟ ବିନାଶ ଘଟିପାରେ; କିନ୍ତୁ ଗତିବେଗ ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଏହାର ସମ୍ଭାବନା ଦ୍ରୁତବେଗରେ କମିଯାଏ । ଲେଡ୍‌ରେ ଗୋଟିଏ ଅତ୍ୟନ୍ତ ମନ୍ଥର ପଜିଟ୍ରନର ଜୀବନକାଳ 10^{-10} s । ପଜିଟ୍ରନକୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ବିପରୀତ କଣିକା ବା ବିପରୀତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ କୁହାଯାଏ, କାରଣ ଗୋଟିଏ ପଜିଟ୍ରନ ଓ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପରସ୍ପରର ବିନାଶ ଘଟାଇ ପାରନ୍ତି ।

10·7 ମ୍ୟୁଅନ ଓ ପାଇଅନ :

ନଭରଶ୍ମିର ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକର ମେଘପ୍ରକୋଷ୍ଠରେ ଫଟୋ ନେବାବେଳେ 1936ରେ ଆଣ୍ଡରସନ୍ ଓ ନେଡରମେୟର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର 207 ଗୁଣ ବସ୍ତୁତ୍ୱବିଶିଷ୍ଟ କଣିକାମାନଙ୍କର ସନ୍ଧାନ ପାଇଲେ । ଏହି କଣିକାଗୁଡ଼ିକୁ ମ୍ୟୁଅନ କୁହାଯାଏ, ଏଗୁଡ଼ିକର ଧ୍ୱଜ $+e$ ବା $-e$ ହୋଇପାରେ । μ^+ ଓ μ^- ଉଭୟ କଣିକା ଅଳ୍ପକ୍ଷଣ ସ୍ଥାୟୀ, ଏଗୁଡ଼ିକ ନିମ୍ନ ପ୍ରକ୍ରିୟା ଅନୁସାରେ ବିନାଶ ହୋଇଥାନ୍ତି,

$$\mu^- \rightarrow \beta^- + \nu + \bar{\nu}_\mu \qquad (୧୦.୭କ)$$

$$\mu^+ \rightarrow \beta^+ + \nu + \bar{\nu}_\mu \qquad (୧୦.୭ଖ)$$

ଏଠାରେ ଉପରେ ଦିଆଥିବା ରେଖା ଗୋଟିଏ ବିପରୀତ କଣିକା ବୁଝାଉଅଛି, ଏହା ନିଉଟ୍ରିନୋ ପରି ହେଲେ ମଧ୍ୟ ତା'ଠାରୁ ପୃଥକ୍ ବାରି ହୋଇ ପାରିବ । ଦଶବର୍ଷ ପରେ π ମେଜନ ବା ପାଇଅନ ନାମରେ ଆଉ ଗୋଟିଏ କଣିକା ଆବିଷ୍କୃତ ହେଲା । ପାଇଅନ ଯୁକ୍ତ, ବିଯୁକ୍ତ ବା ଯୁଗ୍ମ ହୋଇପାରେ । ଧ୍ୱଜଯୁକ୍ତ ଗୋଟିଏ ପାଇଅନର ବସ୍ତୁତ୍ୱ 273

ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଙ୍ଗେ ସମାନ; କିନ୍ତୁ ଗୋଟିଏ ସୂକ୍ଷ୍ମ ପାୟନର ବସ୍ତୁତ୍ୱ 264ଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ର ବସ୍ତୁତ୍ୱ । ବିଯୁକ୍ତ ପାୟନଗୁଡ଼ିକ ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଦୃଢ଼ଭାବରେ ଆକର୍ଷିତ ହୋଇଥାଏ ଏବଂ ଘନବସ୍ତୁମାନଙ୍କରେ ଶୀଘ୍ର ଶୋଷିତ ହୋଇଯାଏ; ଯୁକ୍ତ ପାୟନଗୁଡ଼ିକ ନିଉକ୍ଲିୟସର ସ୍ପର୍ଶ ଦ୍ୱାରା ବିକର୍ଷିତ ହୋଇଥାଏ ଓ ଶୋଷିତ ହେବାର ସମ୍ଭାବନା ଏଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ କମ୍ । ସମସ୍ତ ପ୍ରକାରର ପାୟନ ଏକୁଟିଆ ରହିଲେ ଅସ୍ଥାୟୀ ଓ ନିମ୍ନ ଭ୍ରଂଶ ଦ୍ୱାରା ବିନାଶ ହୋଇଥାନ୍ତି ।

$$\bar{\pi} \rightarrow \bar{\mu} + \bar{\nu}_{\mu} \qquad (୧୦·୮କ)$$

$$\pi^{+} \rightarrow \mu^{+} + \nu_{\mu} \qquad (୧୦·୮ଖ)$$

$$\pi^{0} \rightarrow 2{\cdot}67\ meV\ \gamma \text{ ରଶ୍ମି} \qquad (୧୦·୮ଗ)$$

ନିଉକ୍ଲିୟନମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଆକର୍ଷଣଜନକ ବଳ ସହିତ ପାୟନଗୁଡ଼ିକ ଘନିଷ୍ଠଭାବରେ ସମ୍ପୃକ୍ତ ।

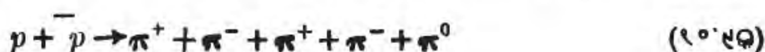
ପାୟନ ସାଙ୍ଗକୁ ମେଜନ ସବୁ ଆବିଷ୍କୃତ ହୋଇଛନ୍ତି (ଦେଖ, ପଛ କଭରର ଭିତର ଟେବୁଲ),

10·8 କଣିକା ଓ ପ୍ରତି କଣିକା :

ପଜିଟ୍ରନକୁ ପାଇବାପାଇଁ ଯେଉଁ ଡିରାକ୍ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ (ଅନୁ:୧୦·୭) ଆଶା କରାଯାଇଥିଲା । ସେହି ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ପ୍ରୋଟନ ସହିତ ସବସମ, ମାତ୍ର ବିଯୁକ୍ତ ସ୍ପର୍ଶ ଥାଇ କଣିକାଟିଏ ଅଶା କରାଯାଇପାରେ । ଏହି କଣିକାଟିର ନାମ ପ୍ରତି ପ୍ରୋଟନ ବା ଆଣ୍ଟି-ପ୍ରୋଟନ କୁହାଯାଏ । 1955 ମସିହାରେ ସେଗ୍ରି, ଚୁମ୍ବରଲେନ୍ ଓ ସେମାନଙ୍କର ସହକର୍ମୀମାନେ ଏହି କଣିକାର ସ୍ଥିତି ପ୍ରତିଷ୍ଠା କରିଥିଲେ । 6-GeV ପ୍ରୋଟନମାନଙ୍କ ସାହାଯ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁକୁ ଆଘାତ କରି ନିମ୍ନଦର୍ଶିତ କ୍ରିୟା ଦ୍ୱାରା ଆଣ୍ଟିପ୍ରୋଟନ ସୃଷ୍ଟି କରାଯାଇଥାଏ ।

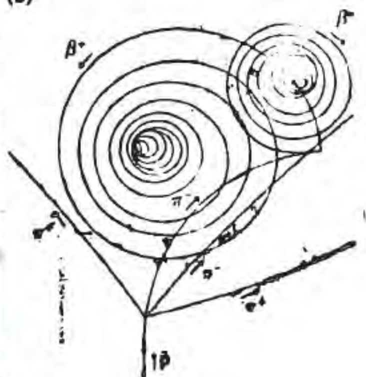
$$p + p\ (+\text{ଶକ୍ତି}) \rightarrow p + p + p + \bar{p} \qquad (୧୦·୯)$$

ଆଘାତକାରୀ ପ୍ରୋଟନର ଗତିଜଶକ୍ତି ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନ-ଆଣ୍ଟିପ୍ରୋଟନ ଦଳ ଓ ଅବଶିଷ୍ଟ ସ୍ଥିରୋଟି କଣିକାର ଗତିଜ ଶକ୍ତିରେ ପରିଣତ ହୋଇଥାଏ । ଆଣ୍ଟିପ୍ରୋଟନଟିର ଗତି ମନ୍ଥର ହେବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଏହା ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନ ଦ୍ୱାରା ବିନାଶ ହୋଇଥାଏ; ଏପରି ଏକ ବିନାଶ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ବିନାଶଶୀଳ ଦଳର ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ପାଞ୍ଚଟି ପାଇଅନ ଓ ସେମାନଙ୍କର ଗତିଜ ଶକ୍ତି (ଚିତ୍ର ୧୦ ୧୦) ଆକାରରେ ଦେଖାଦେଇଥାଏ ।



$$p+\bar{p}\rightarrow\pi^{+}+\pi^{-}+\pi^{+}+\pi^{-}+\pi^{0} \qquad (୧୦·୯କ)$$





[ଚିତ୍ର ୧୦.୧୦ (କ) ଗୋଟିଏ ଆଣ୍ଟିପ୍ରୋଟନ ନିମ୍ନଦେଶରୁ ପ୍ରବେଶ କରିବାର ପ୍ରୋଟନ-ପ୍ରକୋଷ୍ଠରେ ଫଟୋ । ଚିତ୍ରର ନିମ୍ନଦେଶର ନିକଟରେ ଆଣ୍ଟିପ୍ରୋଟନଟି ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନକୁ ବିନାଶ କରୁଛି ଏବଂ ସେଥିରୁ ଦୁଇଟି ଯୁକ୍ତ ପାଇଅନ, ଦୁଇଟି ବିଯୁକ୍ତ ପାଇଅନ ଓ ଗୋଟିଏ ନିଷ୍ପକ୍ଷ ପାଇଅନ ଉତ୍ପନ୍ନ ହୋଇଛନ୍ତି । ଏମାନଙ୍କର କୌଣସି ଗତିପଥ ଦିଶୁନାହିଁ । ଚିତ୍ରର ଉପର ଚତୁର୍ଥାଂଶରେ ଗୋଟିଏ ବିଯୁକ୍ତ ପାଇଅନ ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନ ସହିତ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଘଟାଇଛି । ଏଥିରୁ ଉତ୍ପନ୍ନ ହୋଇଛନ୍ତି ଗୋଟିଏ ପଜିଟ୍ରନ ଓ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ— ପଜିଟ୍ରନଟି ଅଗ୍ରଭାଗରେ ଘଣ୍ଟାକଣ୍ଟାରେ ବିପରୀତ ଦିଗରେ ଘୂରୁଛି ଓ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ଟି ଗୋଟିଏ କ୍ଷୁଦ୍ରତର ସ୍ପାଇରାଲରେ ଘଣ୍ଟାକଣ୍ଟା ଦିଗରେ ଘୂରୁଅଛି । (ଖ) ଏହାକୁ ବୁଝାଇବାର ଚିତ୍ର]

ଏହାର ଏକବର୍ଷ ପରେ ସେହି ଲାବରେଟରୀରେ ଆଣ୍ଟିନିଉଟ୍ରନ୍ $\bar{n}$ ଆବିଷ୍କୃତ ହୋଇଥିଲା । ନିଉଟ୍ରନ୍‌ର କୌଣସି ଚାର୍ଜ ନଥିବାରୁ ଆଣ୍ଟି ନିଉଟ୍ରନଟି ମଧ୍ୟ ଚୁମ୍ବକୀୟ । ଏହା ସାଧାରଣତଃ କେତେକ ପାୟନ ସୃଷ୍ଟି କରି ପ୍ରୋଟନ ବା ଗୋଟିଏ ନିଉଟ୍ରନ ଦ୍ୱାରା ଅତି ଶୀଘ୍ର ବିନାଶ ହୋଇଥାଏ । ଯଦି ଗୋଟିଏ ଆଣ୍ଟି ନିଉଟ୍ରନ ଗୋଟିଏ ନିଉକ୍ଲିୟନ ଦ୍ୱାରା ବିନାଶ ନହୁଏ, ଏହା $\bar{n} \rightarrow \bar{p} + \beta^{+} + \nu$ ପ୍ରକ୍ରିୟାଦ୍ୱାରା ନଷ୍ଟ ହୋଇଯାଏ ।

ଯେତେବେଳେ ଅତ୍ୟଧିକ ଶକ୍ତିଯୁକ୍ତ ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନ ରଶ୍ମି ଗୋଟିଏ ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁକୁ ଆଘାତ କରେ, ପୂର୍ବରୁ କୁହାଯାଇଥିବା କଣିକାମାନଙ୍କ ସାଙ୍ଗକୁ ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ଅନେକପ୍ରକାରର କଣିକା ବାହାରି ପାରନ୍ତି । କଭର ପୃଷ୍ଠାର ଭିତର ପାର୍ଶ୍ୱରେ ଅଧିକ ସାଧାରଣ "ମୌଳିକ" କଣିକାଗୁଡ଼ିକର ତାଲିକା ଦିଆଯାଇଅଛି । ସେଗୁଡ଼ିକ ଚାରିଗୋଟି ପ୍ରାକୃତିକ ବିଭାଗରେ ବିଭକ୍ତ : (1) ଫୋଟନ—ଏଗୁଡ଼ିକର ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଶୂନ୍ୟ ଓ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ (କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା) 1; (2) ଲେପ୍‌ଟନ (ଲଘୁ କଣିକା)—ଏଗୁଡ଼ିକର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ $\frac{1}{2}$ ଓ ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ବସ୍ତୁତ୍ୱର 0ରୁ 210ଗୁଣ । (3) ମେଜନ—ଏଗୁଡ଼ିକର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ 0 ବା ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟକ ଓ ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ 260 ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ୍ ବସ୍ତୁତ୍ୱରୁ ଅଧିକ । (4) ବେରିଅନ (ଗୁରୁ କଣିକା)—ଏଗୁଡ଼ିକର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଅର୍ଦ୍ଧ-ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ଓ ବସ୍ତୁତ୍ୱ 1800 ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବସ୍ତୁତ୍ୱରୁ ଅଧିକ । ମନେ ହେଉଛି, ସମସ୍ତ ବେରିଅନ, ଲେପ୍‌ଟନ ଓ ଚାର୍ଜଯୁକ୍ତ ମେଜନମାନଙ୍କର ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପ୍ରତି କଣିକା ରହିଅଛି (ଅବଶ୍ୟ, ଯେକୌଣସି ପ୍ରତି କଣିକାର ଚାର୍ଜ ଅନୁରୂପ କଣିକାର ବିପରୀତ) । ପ୍ରୋଟନ ଓ ଚୁମ୍ବକୀୟ π^{0} ଓ γ ମେଜନଗୁଡ଼ିକର ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପ୍ରତିକଣିକା ନାହିଁ, ଏଗୁଡ଼ିକ ନିଜ ନିଜର ପ୍ରତି-କଣିକା ବୋଲି କୁହାଯାଏ, ତେବେ, ଦୁଇଟି ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର K ଚୁମ୍ବକୀୟ ମେଜନ ରହିଅଛି । ଏମାନେ କଣିକା ଓ ପ୍ରତିକଣିକା ହିଁ ଭାବରେ କାମ କରନ୍ତି । ଠିକ୍ ଯେପରି ନିଉଟ୍ରନ ଓ ଆଣ୍ଟି ନିଉଟ୍ରନ କରିଥାଏ ।

ପାରମ୍ପରିକ ଭୌତିକୀରେ ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁ ଗୋଟିଏ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଓ କେତେ-ଗୁଡ଼ିଏ ନିଉକ୍ଲିୟସର ବାହ୍ୟ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଦ୍ୱାରା ଏବଂ ଗୋଟିଏ ନିଉକ୍ଲିୟସ ପ୍ରୋଟନ ଓ ନିଉଟ୍ରନମାନଙ୍କୁ ନେଇ ଗଠିତ ବୋଲି ବହୁକାଳରୁ ଧରି ନିଆଯାଇଅଛି । ଗୋଟିଏ ପଜିଟ୍ରନ ଓ ଗୋଟିଏ ଆଣ୍ଟିପ୍ରୋଟନ ଗୋଟିଏ ଆଣ୍ଟି ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ପରମାଣୁ ଗଠନ କରିବା ସମ୍ଭବ ବୋଲି ବିଶ୍ୱାସ କରିବାର କାରଣ ଏହି ଆଣ୍ଟି ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ସାଧାରଣ

ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ସହ ସମାନ ହେବ । ପ୍ରକୃତରେ, ଆଣ୍ଟିପ୍ରୋଟନ, ଆଣ୍ଟିନ୍ୟୁଟ୍ରନ୍ ଓ ପଜିଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସମାବେଶରେ ଗୋଟିଏ ଆଣ୍ଟିବସ୍ତୁର ଜଗତ ଗଢ଼ି ଉଠିବ । ଏହି ଜଗତ ଯେପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ କେବଳ ପ୍ରତିକଣିକା ଦ୍ୱାରା ଗଠିତ ହୋଇଥିବ, ଏହାକୁ ଆମର ବ୍ୟାବହାରିକ ଜଗତଠାରୁ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଭାବରେ ବାସ ହେବନାହିଁ; କିନ୍ତୁ ଏହି ପ୍ରତିପଦାର୍ଥର ବସ୍ତୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ଯଦି କୌଣସିଟି ସାଧାରଣ ବସ୍ତୁର ସଂସ୍ପର୍ଶରେ ଆସିବ, କଣିକା-ପ୍ରତିକଣିକା ବିନାଶ ଅତ୍ୟଧିକ ଶକ୍ତି ନିଷ୍କାସନ ସହ ଘଟିବ । ଏକ ସମୟରେ ବିଶ୍ୱାସ କରାଯାଉଥିଲା ଯେ, ଯଦି କୌଣସି କଣିକାର ବିନାଶ ପଦ୍ଧତି ଆମେ ଜାଣିଥାଉ, ତେବେ ଏହାର ପ୍ରତି କଣିକାର ବିନାଶ ପଦ୍ଧତି ଆମେ ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଲେଖି ଦେଇପାରିବୁ । ଏଥିପାଇଁ ଆମକୁ ପ୍ରତ୍ୟେକ କଣିକା ପାଇଁ ପ୍ରକ୍ରିୟା ମଧ୍ୟରେ ତା'ର ପ୍ରତି କଣିକା ବସାଇ ଦେବାକୁ ହେବ (ଠିକ୍ ଯେପରି ସମୀକରଣ (୧୦·୭ କ, ଖ)ରେ ମ୍ୟୁଅନ ବିନାଶ ପାଇଁ କରାଯାଇଥିଲା ।) କୌଣସି ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ପ୍ରତ୍ୟେକ କଣିକା ପାଇଁ ତା'ର ଆଣ୍ଟିକଣିକା ବସାଇବାକୁ (ଫୁଟନମ ଗୁଡ଼ିକ ଏହାର ଅନ୍ତର୍ଗତ) ଚାର୍ଜ ସଂଯୋଗକରଣ କୁହାଯାଏ । ବର୍ତ୍ତମାନ ଜଣାଗଲାଣି ଯେ, ଦୁର୍ବଳ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାରେ ଚାର୍ଜ ସଂଯୋଗକରଣର ଅପରିବର୍ତ୍ତନୀୟ ନିୟମର ବ୍ୟତିକ୍ରମ ଘଟିଥାଏ ।

ସମସ୍ତ ଲେପ୍‌ଟନ ଓ ବେରିଅନଙ୍କର ଅର୍ଦ୍ଧ-ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟକ ($\frac{1}{2}$, $\frac{3}{2}$, ···) କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା, ଏବଂ ସମସ୍ତେ ଫର୍ମି-ଡିରାକ ପରିସଂଖ୍ୟାନକୁ (୨୦ ଅଧ୍ୟାୟ) ପାଳନ କରନ୍ତି । ଯଦି ଆମେ ପ୍ରତ୍ୟେକ ବେରିୟନକୁ ବେରିୟନ ସଂଖ୍ୟା $A=1$ ଦେବା, ପ୍ରତି ଆଣ୍ଟିବେରିୟନକୁ $A=-1$ ଦେବା ଓ ଅନ୍ୟ ପ୍ରତ୍ୟେକ କଣିକାକୁ $A=0$ ଦେବା, ଆମେ ଦେଖିବା ଯେ, ପ୍ରତ୍ୟେକ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ବେରିୟନ ସଂଖ୍ୟା ସଂରକ୍ଷିତ ହେବ । ତେଣୁ, ସମୀକରଣ (୧୦·୯)ରେ ମୋଟ ବେରିୟନ ସଂଖ୍ୟା 2 ହେବ, କିନ୍ତୁ ସମୀକରଣ (୧୦·୫)ରେ ଏହା ଲକ୍ଷ୍ୟ କର ଯେ, ଯେକୌଣସି ନିଉକ୍ଲାଇଡ଼ ପାଇଁ (ଯଥା — C^{12}) ଊର୍ଦ୍ଧ୍ୱଲେଖ ବେରିୟନ ସଂଖ୍ୟା ବୁଝାଉଅଛି । ଯେତେଦୂର ଜଣାଅଛି, ବେରିୟନମାନଙ୍କର ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମ ସର୍ବଦା ପ୍ରତ୍ୟେକ ପ୍ରକାରର ବିନାଶ ପ୍ରଣାଳୀରେ ଓ ନିଉକ୍ଲିୟର ପ୍ରକ୍ରିୟାମାନଙ୍କରେ ପାଳିତ ହୋଇଥାଏ । ଯେଉଁ ବେରିୟନଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରୋଟନଠାରୁ ଅଧିକ ଗୁରୁ ସେଗୁଡ଼ିକୁ ହାଇପେରନ କୁହାଯାଏ । ନିଉକ୍ଲିୟସ ମଧ୍ୟରେ ନିଉଟ୍ରନ ଛଡ଼ା ଏ ସମସ୍ତେ ଅସ୍ଥାୟୀ ।

ସେହିପରି, ଯଦି ଆମେ e, ν, $\bar{\mu}$ ଓ ν_μ କଣିକାକୁ ଲେପ୍ଟନ ସଂଖ୍ୟା 1 ଦେବା ଓ μ^+, e^+, ν ଓ ν_μକୁ ଲେପ୍ଟନ ସଂଖ୍ୟା −1 ଦେବା, ଆମେ ଦେଖିବା ଯେ, ସେହିପରି ଲେପ୍ଟନ ସଂଖ୍ୟା ସମସ୍ତ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ସଂରକ୍ଷିତ ହେବ । ସମୀକରଣ (୧୦·୫)ରେ ଆମର ମୋଟ ଲେପ୍ଟନ ସଂଖ୍ୟା ହେଲା ଶୂନ୍ୟ କିନ୍ତୁ ସମୀକରଣ (୧୦·୭କ, ଖ)ରେ ଲେପ୍ଟନ ସଂଖ୍ୟା ଯଥାକ୍ରମେ 1 ଓ −1 । ଆମେ ବର୍ତ୍ତମାନ ଦେଖିବା, β ବିନାଶରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସାଙ୍ଗରେ ବାହାରୁଥିବା କଣିକାକୁ କାହିଁକି ଆଣ୍ଟି ନିଉଟ୍ରିନୋ କୁହାଗଲା । ବିନାଶ ପୂର୍ବରୁ ଆମର କୌଣସି ଲେପ୍ଟନ ନଥିଲା; ବିନାଶ ପରେ ଗୋଟିଏ ଲେପ୍ଟନ ଓ ଗୋଟିଏ ଆଣ୍ଟି ଲେପ୍ଟନ ରହିଅଛି, ବା ମୋଟରେ ଶୂନ୍ୟ ସଂଖ୍ୟକ ଲେପ୍ଟନ ରହିଅଛି ।

ଅନ୍ୟ ପକ୍ଷରେ, ଫୋଟନ (ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ħ) ଓ ମେଜନ (ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା 0 ବା ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା) ପ୍ରକ୍ରିୟାମାନଙ୍କରେ ସଂରକ୍ଷିତ ହୁଅନ୍ତି ନାହିଁ । ସେମାନେ ପରିସଂଖ୍ୟାନ (ବୋଷ ଆଇନ୍ଷ୍ଟାଇନ) ପାଳନ କରନ୍ତି । ଆମେ ୨୦ ଅଧ୍ୟାୟରେ ଦେଖିବା ।

ଆଧୁନିକ ଭୌତିକୀର ବହୁ କଣିକାଙ୍କର ତାଲିକା କରିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ପଛ କଭରର ଭିତର ପାଖରେ ଅସ୍ଥାୟୀ କଣିକାମାନଙ୍କର ପ୍ରଧାନ ପ୍ରଧାନ ବିନାଶ ପ୍ରଣାଳୀ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ସୂକ୍ଷ୍ମ କଣିକାମାନେ ମେଘପ୍ରକୋଷ୍ଠ ବା ସ୍ଫୋଟକପ୍ରକୋଷ୍ଠରେ ଗୋଟିଏ ଆୟନମାଳା ଛାଡ଼ି ନଯାଉଥିବାରୁ ପ୍ରକୋଷ୍ଠର ଫଟୋ ନେଲେ ସେମାନଙ୍କର ପଥ ଦେଖାଯାଏନାହିଁ । ଏପ୍ରକାରର କଣିକାମାନଙ୍କର ସ୍ଥିତି ପରୋକ୍ଷ ପ୍ରମାଣରୁ ମିଳିଥାଏ, ଯଥା—ଏମାନଙ୍କ ପରେ ମିଳୁଥିବା ସ୍ୱର୍ଜଯୁକ୍ତ କଣିକାରୁ (ଏହା ସୂକ୍ଷ୍ମ କଣିକାଟିର ବିନାଶରୁ ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଥାଏ ବା ଏହାଦ୍ୱାରା ସୃଷ୍ଟ କୌଣସି ପ୍ରକ୍ରିୟାରୁ ଜନ୍ମିଥାଏ) । ଅଥବା ଏକ ବା ଏକାଧିକ ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମରେ ବ୍ୟତିକ୍ରମରୁ ଏପରି କଣିକାର ସନ୍ଧାନ ମିଳିଥାଏ । ଭୌତିକରେ ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମଗୁଡ଼ିକର ପ୍ରାଧାନ୍ୟ ଫଳରେ ଆମେ ନିମ୍ନରେ ସେହି ନିୟମଗୁଡ଼ିକ ତାଲିକା କରିଦେବୁ ଏବଂ ଏଗୁଡ଼ିକ ସର୍ବଦା ପାଳିତ ହେବେ ବୋଲି ଧରିନେବୁ ।

10·9 ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମ :

ପ୍ରଚଳିତ ଭୌତିକୀରୁ ନିମ୍ନଲିଖିତ ନିୟମ ସବୁ ମିଳିଥାଏ ।

୧ । ସଂବେଗର ସଂରକ୍ଷଣ ।

୨ । ଶକ୍ତିର ସଂରକ୍ଷଣ ।

୩ । କୌଣିକ ସଂବେଗର ସଂରକ୍ଷଣ ।

୪ । ଚାର୍ଜର ସଂରକ୍ଷଣ ।

ଯେକୌଣସି ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ସଂସ୍ଥା ପାଇଁ ଏ ସବୁଗୁଡ଼ିକରୁ ପ୍ରତ୍ୟେକଟି ଧ୍ରୁବ ରହିବ । (ଆମେ ତୃତୀୟ ଅଧ୍ୟାୟରେ ଦେଖିଥାଇଁ ଯେ, ଶକ୍ତି ଓ ସଂବେଗର ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମକୁ ଗୋଟିଏ ନିୟମ ବୋଲି ଧରାଯାଇପାରେ — ଏଥିପାଇଁ ଶକ୍ତି/c କୁ ସଂସ୍ଥା ପାଇଁ ଚତୁଃଭେକ୍ଟର ସଂବେଗର ସମୟ ସଂଯୋଜକ ବୋଲି ଧରିବାକୁ ହେବ) ।

ଏହା ସାଙ୍ଗକୁ ଆମେ କଣିକା-ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମ ନେବା :

୫ । ବେରିୟନ ସଂରକ୍ଷଣ, ଯେକୌଣସି ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ମୋଟ ବେରିୟନ ସଂଖ୍ୟା ଧ୍ରୁବ ରହିବ ।

୬ । ଲେପ୍‌ଟନ ସଂରକ୍ଷଣ, ଯେକୌଣସି ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ମୋଟ ଲେପ୍‌ଟନ ସଂଖ୍ୟା ଧ୍ରୁବ ରହିବ ।

ଏହା ସାଙ୍ଗକୁ ଆହୁରି ଜଟିଳ ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମ ସବୁ ରହିଅଛି । ସେଗୁଡ଼ିକ ଲିପିବଦ୍ଧ କରିବା ପୂର୍ବରୁ ଉପଯୁକ୍ତ ପୃଷ୍ଠଭୂମି ସୃଷ୍ଟି କରିବା ଦରକାର ।

10·10 କଣିକାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା :

ଆଧୁନିକ ଭୌତିକୀର କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ଗୋଟିଏ ଅନ୍ୟଟି ସହିତ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଫଳରେ ଯୌଗିକ କଣିକା ସୃଷ୍ଟି କରନ୍ତି । ଏଥିରେ କେତେକ ସ୍ଥାୟୀ (ଅକ୍‌ସିଜେନ ପରମାଣୁ ପରି) ଓ ଅନ୍ୟ କେତେକ ଅସ୍ଥାୟୀ (ପଜିଟ୍ରୋନିୟମ ପରି) । ମନେ ହୁଏ, ଭୌତିକ ଜଗତରେ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ବଳମାନଙ୍କୁ ଚାରିଭାଗରେ ବିଭକ୍ତ କରାଯାଇପାରିବେ ।

(୧) ମହାକର୍ଷିକ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା । (୨) ଶିଥିଳ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା । ଏହା ବହୁ ଅସ୍ଥାୟୀ କଣିକା ଓ ଅନ୍ୟ କଣିକାମାନଙ୍କର (ଯଥା—ମ୍ୟୁଅନ) ବିନାଶ ନିୟନ୍ତ୍ରଣ କରିଥାଏ । (୩) ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା—ଏହା ସମସ୍ତ ଚାର୍ଜଯୁକ୍ତ କଣିକା ଉପରେ କାର୍ଯ୍ୟ କରିଥାଏ ଓ ଏଥିରେ ଫୋଟନ (ଏହା ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ବିକିରଣର ମୌଳିକ ଏକକ) ଅନ୍ତର୍ଭୁକ୍ତ । (୪) ନିଉକ୍ଲିୟର (ବା ଦୃଢ଼) ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ।

ସବୁଠାରୁ ଶିଥିଳ ବଳଟିକୁ ଆମେ ପ୍ରଥମରୁ ପରିମାଣାତ୍ମକ ଭାବରେ ବୁଝିଥିଲୁ । ଏହା ବଡ଼ କୌତୁକପ୍ରଦ । ମହାକର୍ଷିକ ବଳ ସର୍ବଦା ଆକର୍ଷଣୀୟ । ନିୟମ ଅନୁସାରେ ଏହି ବଳର ପରିସର ସୀମିତ ନୁହେଁ ଓ ବଡ଼ ବଡ଼ ବସ୍ତୁମାନଙ୍କର ପୃଥିବୀର ମାଧ୍ୟାକର୍ଷଣ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଗତି ପାଇଁ ଏହି ବଳହିଁ ପ୍ରଧାନତଃ ଦାୟୀ । ବସ୍ତୁତ୍ୱ m_1 ଓ m_2 ବିଶିଷ୍ଟ ଦୁଇଟି ବସ୍ତୁ ମଧ୍ୟରେ ମହାକର୍ଷିକ ବଳ F_G ନିଉଟନଙ୍କ ମହାକର୍ଷଣ ନିୟମ $F_G = Gm_1 m_2/r^2$ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ; ଏଠାରେ $G = 6{\cdot}670 \times 10^{-11} N-m^2/kg^2$ ଓ r ହେଲା କଣିକାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଦୂରତ୍ୱ । ଏହି ନିୟମର ଚମତ୍କାର ସଫଳତା ଏବଂ ପାର୍ଥିବ ଓ ନଭମଣ୍ଡଳର ବସ୍ତୁମାନଙ୍କ ପାଇଁ ବ୍ୟବହୃତ ସାଧାରଣୀକୃତ ନିଉଟନୀୟ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀର ସଫଳତା ପୁରାତନ ଭୌତିକୀର ଏକ ବିରାଟ ଅବଦାନ ।

ପାରମାଣବିକ ସ୍ତରରେ ବୁଝାଯିବାପାଇଁ ଏହାର ପର ବଳ ହେଲା, ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକୀୟ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାରେ ସ୍ଥିର ବିଦ୍ୟୁତର ଅବଦାନ । ଏହି ବଳ କୁଲମ୍ବ ନିୟମ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ । q_1 ଓ q_2 ଦୁଇଟି ଚାର୍ଜ ଶୂନ୍ୟ ସ୍ଥାନରେ ରହିଲେ, $F_E = q_1 q_2/4\pi \epsilon_0 r^2$, ଏଠାରେ ϵ_0 ଶୂନ୍ୟ ସ୍ଥାନର ସହ୍ୟତା । ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ବଳ ଦୂରତା ଅନୁସାରେ ମହାକର୍ଷଣ ବଳ ପରି ବଦଳିଥାଏ; କିନ୍ତୁ ଦୁଇଟି ପ୍ରୋଟନ ପାଇଁ ଏହା ମହାକର୍ଷଣ ବଳ ତୁଳନାରେ 10^{36} ଗୁଣ । ତେଣୁ ଏହା ସ୍ପଷ୍ଟ ଯେ, ପରମାଣିକ ସ୍କେଲରେ ଚାର୍ଜଯୁକ୍ତ କଣିକାମାନଙ୍କ ପାଇଁ ମହାକର୍ଷଣ ବଳ ନଗଣ୍ୟ । ଗୋଟିଏ ନିଉଟନୀୟ ଫ୍ରେମରେ ଦୁଇଟି ଚାର୍ଜ କଣିକା ଗତିରେ ଥିବାବେଳେ କେବଳ କୁଲମ୍ବ କ୍ଷେତ୍ର ଦ୍ୱାରା କାର୍ଯ୍ୟ କରନ୍ତି ନାହିଁ, ଚୁମ୍ବକୀୟ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଦ୍ୱାରା ମଧ୍ୟ କାର୍ଯ୍ୟ କରିଥାନ୍ତି । ତେଣୁ ଏହିପରି ହେଲେ ଚାର୍ଜ ମଧ୍ୟରେ ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ସାଙ୍ଗକୁ ଗୋଟିଏ ଗତି ନିର୍ଭରଶୀଳ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହୋଇଥାଏ । ଏହାଛଡ଼ା, ପୁରାତନ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ତତ୍ତ୍ୱରେ

ଗୋଟିଏ ତ୍ୱରାନ୍ୱିତ ଚାର୍ଜ ନିଶ୍ଚୟ ବିକିରଣ କରିବ, ତେଣୁ ଏହା ଉପରେ ଗୋଟିଏ ବିକିରଣ-ପାରସ୍ପରିକ-କ୍ରିୟାଶୀଳ ବଳ କାର୍ଯ୍ୟ କରିବ, ଏହା ତ୍ୱରଣ ନିର୍ଭରଶୀଳ । ପରମାଣୁମାନଙ୍କରେ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଓ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ କାର୍ଯ୍ୟ କରୁଥିବା ବଳ ଏବଂ ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ କାର୍ଯ୍ୟ କରୁଥିବା ବଳ (ଯାହାଲାଗି ଅଣୁ, ତରଳ ପଦାର୍ଥ ଓ କଠିନ ପଦାର୍ଥ ହୁଏ) ପ୍ରକୃତରେ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକୀୟ; କିନ୍ତୁ ପୁରାତନ ଭୌତିକୀ ଏହି ସଂସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକୁ ବୁଝାଇବାକୁ ସମର୍ଥ ହେଉନାହିଁ । ଏହି ପରାଭବ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀର ଜନ୍ମର କାରଣ ।

ନିଉକ୍ଲିୟର (ବା ଦୃଢ଼) ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ନିଉଟ୍ରନ ଓ ପ୍ରୋଟନକୁ ନିଉକ୍ଲିୟସ ମଧ୍ୟରେ ବାନ୍ଧି ରଖିଥାଏ, ଏହି ବଳର ପରିସର ଅତି ଅଳ୍ପ । 10^{-15} m ଦୂରତାରେ ମୌଳିକ ଚାର୍ଜଯୁକ୍ତ ଏକକମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଏହାର ପରିମାଣ ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାର ପ୍ରାୟ ଏକଶହ ଗୁଣ । ତେବେ, ଏହା ଦୂରତାର ବୃଦ୍ଧି ସଙ୍ଗେ ଅତିବେଗରେ କମି କମି ଯାଇଥାଏ । କେବଳ ଫୋଟନ ଓ ଲେପ୍‌ଟନକୁ ଛାଡ଼ିଦେଲେ ସମସ୍ତ ମୌଳିକ କଣିକା ଦୃଢ଼ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାରେ ଅଂଶ ଗ୍ରହଣ କରିଥାନ୍ତି; ଦୃଢ଼ଭାବରେ ପରସ୍ପର ସହିତ କାର୍ଯ୍ୟ କରୁଥିବା କଣିକାଗୁଡ଼ିକୁ ହାଡ୍ରନ କୁହାଯାଏ । ହାଡ୍ରନମାନଙ୍କ ପାଇଁ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ବଳ ପାରିମାଣିକ ଭାବରେ ସଠିକ୍ ଜଣାନାହିଁ । ଏବିଷୟରେ ଆଜିକାଲିର ନିଉକ୍ଲିୟର ଭୌତିକୀ ଓ 50ବର୍ଷ ତଳର ପାରମାଣବିକ ଭୌତିକୀ ମଧ୍ୟରେ ସ୍ପଷ୍ଟ ପାର୍ଥକ୍ୟ ରହିଅଛି । ସେତେବେଳେ ବଳ ନିୟମ ଜଣାଥିଲା, କିନ୍ତୁ ଗୋଟିଏ ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଗଢ଼ି ଉଠି ନଥିଲା; କିନ୍ତୁ ବର୍ତ୍ତମାନ କ୍ୱାଣ୍ଟମଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ବୋଲି ମନେ କରାଯାଉଅଛି, ମାତ୍ର ବଳସୂତ୍ର ଜଣାନାହିଁ ।

ଶେଷରେ ଶିଥିଳ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା କଥା ଆସିଲା (ଦୃଢ଼ ବଳର ମୋଟାମୋଟି 10^{-10} ଗୁଣ ବଳଯୁକ୍ତ ହେବ), ଏହା ଅସ୍ଥାୟୀ ହାଡ୍ରନମାନଙ୍କର ବିନାଶକୁ ନିୟନ୍ତ୍ରଣ କରେ ଯଥା—ନିଉଟ୍ରନ ବା Λ କଣିକା ($\Lambda \rightarrow P + \pi^-$) । ପରେକ୍ତ କଣିକାର ପ୍ରାୟ $10^{-10}\,s$ ଅର୍ଦ୍ଧଜୀବନ, ଦୃଢ଼ ପାରସ୍ପରିକକ୍ରିୟା ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ ପ୍ରାୟ $10^{-24}\,s$ ସମୟ ତୁଳନାରେ ଏହା ଯଥେଷ୍ଟ ବେଶୀ ଶିଥିଳ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାର ଦୃଢ଼ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ପରି ଅତି ଅଳ୍ପ ପରିସର ।

କେତେକ କଣିକା ଚାରୋଟିଯାକ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାଦ୍ୱାରା ଯୋଡ଼ା ହୋଇଥାନ୍ତି। ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ପ୍ରୋଟନ ଗୋଟିଏ ଦୃଢ଼ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାଯୁକ୍ତ ନିଉକ୍ଲିୟନ; ଏହା ଏହାର ଚାର୍ଜଲାଗି ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକୀୟ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାରେ ଭାଗ ନେଇଥାଏ ଏବଂ ଏହାର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଲାଗି ମହାକର୍ଷିକ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାରେ ମଧ୍ୟ ଭାଗ ନେଇଥାଏ। ଆଉ ମଧ୍ୟ ଗୋଟିଏ ବିକିରଣକାରୀ ନିଉକ୍ଲିୟସରେ ଏହା ପଜିଟ୍ରନ ବିକିରଣରେ ଅଂଶ ଗ୍ରହଣ କରିଥାଏ। ଏହାଦ୍ୱାରା ଶିଥିଳ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାଦ୍ୱାରା ଏହା ଗୋଟିଏ ନିଉଟ୍ରନ, ଗୋଟିଏ ନିଉଟ୍ରିନୋ ଓ ଗୋଟିଏ ପଜିଟ୍ରନରେ ରୂପାନ୍ତରିତ ହୋଇଥାଏ। ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଓ ଚାର୍ଜଯୁକ୍ତ ମ୍ୟୁଅନ କେବଳ ଦୃଢ଼ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଛାଡ଼ିଦେଲେ ଅନ୍ୟ ସବୁଥିରେ ଅଂଶ ଗ୍ରହଣ କରିଥାନ୍ତି।

10·11 ଅସ୍ୱାଭାବିକ ପରମାଣୁ :

ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସହିତ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଦ୍ୱାରା ବାନ୍ଧି ହୋଇ ରହିଲେ, ଗୋଟିଏ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁ ହୋଇଥାଏ, ଯୁକ୍ତ ନିଉକ୍ଲିୟସକୁ ଯଥେଷ୍ଟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବାନ୍ଧି ରଖି ସୁଷମ କଲେ ଅନ୍ୟ ପରମାଣୁ ସବୁ ଗଠିତ ହୋଇଥାଏ। କିନ୍ତୁ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାରେ ସମସ୍ତ ଚାର୍ଜ କଣିକା ଭାଗ ନେଇଥାନ୍ତି। ଚାର୍ଜ କଣିକାମାନଙ୍କର ବିଭିନ୍ନ ସମାବେଶ ଦ୍ୱାରା ଅନେକ ଅସ୍ୱାଭାବିକ ପରମାଣୁ ଗଠିତ ହୋଇଥାଏ।

ପଜିଟ୍ରନିୟମ (ଅନୁ: ୧୦·୬) ଏହିପରି ଏକ "ପରମାଣୁ"ର ଉଦାହରଣ। ଗୋଟିଏ ପଜିଟ୍ରନ ଓ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗୋଟିଏ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରି ଢାଞ୍ଚାରେ ବାନ୍ଧି ହୋଇ ଏହା ଗଠିତ ହୋଇଥାଏ। ଦୁଇପ୍ରକାରର ପଜିଟ୍ରନିୟମ ଅଛି; ପାରାପଜିଟ୍ରନିୟମ ଏଥିରେ କଣିକାମାନଙ୍କର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କୌଣିକ ସଂବେଗର Z ସଂଯୋଜକଗୁଡ଼ିକ ବିପରୀତ ଦିଗମୁଖୀ ଏବଂ ଅର୍ଥୋପଜିଟ୍ରନିୟମ, ଏଥିରେ ସେଗୁଡ଼ିକ ଏକଦିଗମୁଖୀ। ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ କୌଣସି କକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗ ନଥାଏ। ଫଳତଃ, ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ପାରାପଜିଟ୍ରନିୟମର କୌଣସି କୌଣିକ ସଂବେଗ ନଥାଏ; କିନ୍ତୁ ଅର୍ଥୋ-ପଜିଟ୍ରନିୟମର ଏକ ଏକକ କୌଣିକ ସଂବେଗ ଥାଏ। ପୂର୍ବୋକ୍ତଟିର ଅର୍ଦ୍ଧଜୀବନ କାଳ ହେଲା 8×10^{-9} s, ଏଥିରୁ ଦୁଇଟି ଫୋଟନ ବିକିରିତ ହୋଇ ଏହାର ବିନାଶ ଘଟେ। ଯେଉଁ ଫ୍ରେମ୍‌ରେ ବସ୍ତୁତ୍ୱ କେନ୍ଦ୍ର ସ୍ଥିର ଥାଏ,

ଏହି ଫୋଟନଗୁଡ଼ିକ ବିପରୀତ ଦଗରେ ଏକା ସଂବେଗ ସହ ଓ 0·511 meV ଶକ୍ତିସହ ବିକିରିତ ହେବେ । ପ୍ରତି ଫୋଟନର କୌଣିକ ସଂବେଗ ଏକ ଏକକ ହୋଇଥିବାରୁ ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ଯୋଗ ହେଲେ ଯୋଗଫଳ ଶୂନ୍ୟ ହେବ । ଅର୍ଥୋପଜନ୍ତ୍ରନିୟମ ପାଇଁ ଦୁଇ ଫୋଟନ ବିନାଶକୁ ନେଇ ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମଗୁଡ଼ିକୁ ସନ୍ତୁଷ୍ଟ କରି ହେବନାହିଁ; ଏଠାରେ ବିନାଶ ତିନୋଟି ଫୋଟନ ଉତ୍ପାଦନ ଦ୍ୱାରା ସାଧାରଣତଃ ଘଟିଥାଏ ।

1949ରେ ଚ୍ଚଙ୍ଗ ଜଣାଇଲେ ଯେ, ଲେଡ୍‌ରେ ବନ୍ଦ କରାଗଲେ ପ୍ରତି ବିଯୁକ୍ତ ମ୍ୟୁଅନ ପାଇଁ 1 ଓ 5 meV ମଧ୍ୟରେ ଶକ୍ତି ଥାଇ ହାରାହାରି ତିନୋଟି ଫୋଟନ ବିକିରିତ ହୋଇଥାଏ । ଏହି ଫୋଟନଗୁଡ଼ିକ ବୋର୍ ସମରଫିଲ୍ଡ ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ସହ ସମାନ ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ମଧ୍ୟରେ ମ୍ୟୁଅନ ସଂକ୍ରମଣ ଫଳରେ ଉତ୍ପନ୍ନ ହୋଇଥାଏ । ମ୍ୟୁଅନଟିଏ ବସ୍ତୁ ମଧ୍ୟରେ ଗତି କଲାବେଳେ, ଏହା ଗତିଜ ଶକ୍ତି ହରାଇଥାଏ ଓ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଚାରିପଟେ ଥିବା ବୋର୍ କକ୍ଷରେ ଆବଦ୍ଧ ହୋଇ ରହିଯାଇପାରେ, ତେଣୁ ଗୋଟିଏ Z ଚାର୍ଜଯୁକ୍ତ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଗୋଟିଏ ମ୍ୟୁଅନ ଓ Z − 1 ଇଲେକଟ୍ରନକୁ ନେଇ ମ୍ୟୁନକାସ୍ଥ ପରମାଣୁ ଗଠିତ ହୁଏ । ବନ୍ଦୀ ହୋଇଥିବା ମ୍ୟୁଅନ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ସଂକ୍ରମଣ କରି ପ୍ରାୟ 10^{-13} s.ରେ ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ($n=1$) ପହଞ୍ଚିଥାଏ । ତାପରେ ମ୍ୟୁଅନଟି ହୁଏ ତ ବିନାଶ ହୁଏ, ସମୀକରଣ (୧୦·୭କ), ବା $\mu^- + p \rightarrow n + \nu_\mu$ ପାରଷ୍ପରିକ କ୍ରିୟାରେ ଗୋଟିଏ ନିଉକ୍ଲିୟନ ଦ୍ୱାରା ବନ୍ଦୀ ହୋଇଥାଏ ।

ଯଦି କ୍ଷଣକ ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ନିଉକ୍ଲିୟସକୁ ଆମେ ଗୋଟିଏ ଚାର୍ଜବିନ୍ଦୁ ବୋଲି ଧରି ନେବା, ମ୍ୟୁଅନୀୟ ବୋର୍ କକ୍ଷର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ r, ଅନୁରୂପ ଇଲେକଟ୍ରନ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧର $\frac{1}{207}$ ହେବ । ଲେଡ୍ ପାଇଁ $n=1$ ନେଲେ $r = 3 \times 10^{-15}$ m ହେବ, କିନ୍ତୁ ସମୀକରଣ (୧୦·୬)ରୁ ଲେଡ୍‌ର ନିଉକ୍ଲିୟସର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ଠିକ୍ 10^{-14} mର ତଳକୁ ହେବ । ଯଦି ଏହି ମୂଲ୍ୟ ଗ୍ରହଣ କରାଯାଏ, $n=1$ କକ୍ଷର ମ୍ୟୁଅନ ନିଉକ୍ଲିୟସର ଅନେକ ଭିତରକୁ ରହିଯିବ, କିନ୍ତୁ $n=2$ କକ୍ଷଟି ଠିକ୍ ବାହାରକୁ ରହିବ । ପରୀକ୍ଷାରୁ ଦେଖାଯିବ ଯେ, $n=2$ରୁ $n=1$କୁ ମ୍ୟୁଅନର ସଂକ୍ରମଣ ଲେଡ୍‌ରେ ପ୍ରାୟ 6meV ଶକ୍ତିବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ

ଫୋଟନ ହେଇଥାଏ, କିନ୍ତୁ ନିଉକ୍ଲିୟସଟି ଗୋଟିଏ ବିନ୍ଦୁ ହେଲେ ଏହି ଶକ୍ତି ପରିମାଣ 16meV ହେବ । ତେଣୁ ନିଉକ୍ଲିୟସର ଆକାର ସସୀମ ହେଲେ, ଲେଡ୍ ପାଇଁ ମ୍ୟୁୟୋନୀୟ K_α ରେଖାର ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ବହୁ ଅଂଶରେ କମିଯାଏ । ମ୍ୟୁୟୋନୀୟ ପରମାଣୁର ଅନୁଶୀଳନାରୁ ନିମ୍ନୋକ୍ତ ପ୍ରଧାନ ପ୍ରଧାନ ବିଷୟଗୁଡ଼ିକ ମିଳିପାରିବ । (୧) ନିଉକ୍ଲିୟସର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ (୨) ଚତୁଃମେରୁ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ (୩) ମ୍ୟୁୟନର ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ (୪) ନିଉକ୍ଲିୟସର ଚାର୍ଜ ବଣ୍ଟନରେ ଥିବା ସାମ୍ଭାବ୍ୟ ଅସମତା (୫) ନିଉକ୍ଲିୟସର ପାର୍ଶ୍ୱିଭୂତତା ଓ ନମନୀୟତା । ନିଉକ୍ଲିୟସର ବିଦ୍ୟୁତ କ୍ଷେତ୍ର ବିଷୟରେ ବିଚାର କରିବା ପାଇଁ $\bar{\mu}$ ଗୋଟିଏ ଆଦର୍ଶ ବସ୍ତୁ କଣିକା । ଏହାର ନିଉକ୍ଲିୟନମାନଙ୍କ ସହ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଅତ୍ୟନ୍ତ ଶିଥିଳ ଏବଂ ଏହାର ସ୍ୱଳ୍ପ ଅର୍ଦ୍ଧଜୀବନ ମଧ୍ୟରେ $10^{17} kg/m^3$ ହାରାହାରି ଘନତ୍ୱବିଶିଷ୍ଟ ନିଉକ୍ଲିୟର ବସ୍ତୁତ୍ୱରୁ $\bar{\mu}$ ବହୁ ମିଟର ଭେଦ କରିପାରେ ।

କେବଳ ମ୍ୟୁୟୋନୀୟ ପରମାଣୁମାନଙ୍କରୁ ଏକ୍ସରେ ମିଳନାହିଁ, K^- ଓ π^- କଣିକାମାନଙ୍କର ବନ୍ଧନରୁ ମଧ୍ୟ ଏକ୍ସରେ ମିଳିଅଛି । ପାୟନ ଓ କେୟନମାନେ ଦୃଢ଼ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାରେ ଅଂଶ ଗ୍ରହଣ କରୁଥିବାରୁ, ସେମାନେ ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କରେ ଶୀଘ୍ର ଶୋଷିତ ହୋଇଯାଆନ୍ତି । ଉଦାହରଣସ୍ୱରୂପ, ଏହି କାରଣରୁ ଗୋଟିଏ π ମେଜନ $n=1$ ସ୍ତରରେ ପହଞ୍ଚିବା ପୂର୍ବରୁ ସାଧାରଣତଃ ଶୋଷିତ ହୋଇଯାଇଥାଏ, କେବଳ ଅତି ଲଘୁ ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କରେ ଏପରି ଶୋଷିତ ହୁଏନାହିଁ ।

ଗୋଟିଏ ଯୁକ୍ତ ମ୍ୟୁୟନ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନକୁ ଧରି ଗୋଟିଏ ମ୍ୟୁୟୋନୀୟମ "ପରମାଣୁ" ଗଠନ କରିପାରେ; ଏହା ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ଗୋଟିଏ ଲଘୁ ଆଇସୋଟୋପ । ଏଥିରେ ମ୍ୟୁୟନଟି ପ୍ରୋଟନ ସ୍ଥାନରେ ରହିଅଛି । ଏହାର ଶକ୍ତିସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ଶକ୍ତିସ୍ତରଗୁଡ଼ିକର ଅତି ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ, ଏହାର ପରିଣାମୀ ବସ୍ତୁତ୍ୱ କମ୍ ହୋଇଥିବାରୁ ଏହାର ଶକ୍ତିସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ସ୍ତରଠାରୁ ସାମାନ୍ୟ ପ୍ରଭେଦ (ଅଧିକ କହିଲେ, ପ୍ରଭେଦର କାରଣ ମ୍ୟୁୟନର ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ପ୍ରୋଟନର ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣର 3·183 ଗୁଣ) । ତଥାପି ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ଯୁକ୍ତ କଣିକା, ଯଥା—π^+, K^+, Σ^+ରୁ ଗୋଟିଏ ଓ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନକୁ ନେଇ ଅନ୍ୟ "ପରମାଣୁ" ଗଢ଼ାଯାଇପାରିବ; ଏ ପ୍ରତ୍ୟେକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ପରମାଣୁର ଜୀବନକାଳ ମୂଳତଃ ଯୁକ୍ତକଣିକାର ଜୀବନକାଳ ସହିତ ସମାନ ।

ପ୍ରଶ୍ନାବଳୀ

୧। $4keV$ ଗତିଜ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଏକ ଆୟନୀଭୂତ କାର୍ବନ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକର ଏକ ସରଳୀକୃତ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ଯେଉଁ ଅଞ୍ଚଳରେ ପ୍ରବେଶ କଲା, ସେଠାରେ ଗତିବେଗକୁ ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ $0{\cdot}25 Wb/m^2$ ସମଚୁମ୍ବକୀୟ ପ୍ରେରଣ ରହିଅଛି । ଯଦି ଆୟନଗୁଡ଼ିକ ଗୋଟିଏ ଅର୍ଦ୍ଧ ଗୋଲାକାର ଗତିପଥରେ ଯାଇ ଗୋଟିଏ ଫଟୋଗ୍ରାଫ୍ ପ୍ଲେଟରେ ପଡ଼ନ୍ତି, c^{12} ଓ c^{13} ଆୟନମାନଙ୍କର ଗତିପଥଗୁଡ଼ିକର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ଏବଂ ପ୍ଲେଟ୍‌ଠାରେ ସେମାନଙ୍କର ବ୍ୟବଧାନ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

ଉତ୍ତର : $12{\cdot}62\ cm$; $13{\cdot}14 cm$, $1{\cdot}04 cm$.

୨। ମନେକର ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ $5 \times 10^{-4} m$ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ କଠିନ ଗୋଲକ । ଯଦି ଏହାର କୌଣିକ ସଂବେଗ $\sqrt{3}\hbar/2$ ହୁଏ, ତେବେ ଏହି ଗୋଲକର କୌଣିକ ଗତିବେଗ ଓ ସ୍ପର୍ଶରେଖୀୟ ଗତିବେଗ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

ଉତ୍ତର : $1{\cdot}0 \times 10^{25} rad/s$; $5 \times 10^{9}\ m/s$ $(\sim 17c)$

୩। ଦେଖାଅ ଯେ, ଗୋଟିଏ ମାତ୍ର ଫୋଟନ ବିକଶିତ ହୋଇ ଯୁଗ୍ମ ଉତ୍ପାଦନ ଓ ଯୁଗ୍ମ ବିନାଶ ସମ୍ଭବ ନୁହେଁ, ସେତେବେଳେ ଯୁଗ୍ମ ଓ ଫୋଟନ ସାଙ୍ଗକୁ ଅନ୍ୟ କଣିକା ନେବାକୁ ହେବ ।

୪। ବସ୍ତୁତ୍ୱ-ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରୋଗ୍ରାଫୀୟ ତ୍ରିଧାର ନିଅ,

$$C_3H_8 - CO_2 = a$$
$$CO_2 - CS = b$$
$$C_6H_4 - CS_2 = d$$

ଦେଖାଅ ଯେ C^{12}ର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଠିକ୍ 12 ହୁଏ, ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ବସ୍ତୁତ୍ୱ $H = 1 + (2a + 2b - d)/12$ ହେବ ।

୫ । ଟ୍ରିଟନ୍ ($_1H^3$) ଅସ୍ଥାୟୀ, ଏଥିରୁ ସର୍ବାଧିକ ଶକ୍ତି $18.5 keV$ ବିଶିଷ୍ଟ β ରଶ୍ମି ବିକିରିତ ହୋଇଥାଏ । ସାମ୍ଭାବ୍ୟ ସର୍ବାଧିକ ଶକ୍ତିକୁ ନେଗ୍ଲିବଲ ୧୦⁻¹⁹ରେ ଦିଆଥିବା H^3 ଓ He^3ର ବସ୍ତୁତ୍ୱକୁ ହିସାବ କର ।

୬ । ଗୋଟିଏ ଡ୍ୟୁଟେରନ ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନ ଓ ଗୋଟିଏ ନିଉଟ୍ରନ ସେମାନଙ୍କର କେନ୍ଦ୍ର $2.5 \times 10^{-15} m$ ବ୍ୟବଧାନରେ ଥାଇ ଗଠିତ ବୋଲି ମୋଟାମୋଟି ଭାବରେ ଧରିନେଲେ ଓ ସେଥିରେ ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତି $2.2 meV$ ହେଲେ ଏଥି ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ ଦୃଢ଼ (ନିଉକ୍ଲିୟର) ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାର ଶକ୍ତି ସହ ।

(କ) ସେତିକି ଦୂରତ୍ୱରେ ଥିବା ଦୁଇଟି ପ୍ରୋଟନର ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତିର ଓ

(ଖ) ଦୁଇ ନିଉକ୍ଲିୟନଙ୍କର ମହାକର୍ଷିକ ଓ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତିର ତୁଳନା କର । ଦୁଇଟି ପ୍ରୋଟନର ମଧ୍ୟରେ ଥିବା କୁଲମ୍ବିୟ ବିକର୍ଷଣ ବଳର ମହାକର୍ଷଣୀୟ ବଳ ସହିତ ଅନୁପାତ କେତେ ?

୭ । $\lambda = 0.00400 A^\circ$ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ଗାମାରଶ୍ମି ଫୋଟନ ଗୋଟିଏ ମେଘ ପ୍ରକୋଷ୍ଠରେ ଗୋଟିଏ ଲେଡ୍ ନିଉକ୍ଲିୟସ ସହିତ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଘଟାଇ ଗୋଟିଏ ଯୁଗ୍ମ ଉତ୍ପାଦନ କଲା । ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ଗତିବେଗ ଭେକ୍ଟର ପ୍ରତି ଲମ୍ବଭାବରେ $0.0501 Wb/m^2$ର ଗୋଟିଏ ସମଚୁମ୍ବକୀୟ କ୍ଷେତ୍ର ରହିଅଛି ।

(କ) ଯଦି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ଯୁଗ୍ମର ମୋଟ ଗତିଜ ଶକ୍ତିର ଶତକଡ଼ା 40ରେ ଶେଷ ହୁଏ, କ୍ଷେତ୍ରରେ ଏହାର ଗତିପଥର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

(ଖ) ପଜିଟ୍ରନ ଗତିଜ ଶକ୍ତି ହରାଉ ହରାଉ, ଯଦି ଏହା ଚତୁର୍ଥ ବୋର୍ କକ୍ଷରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବାନ୍ଧିରଖେ, ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥା ଉନୋଟି ସଂକ୍ରମଣରେ ଲଭ ହେଲେ ବିକିରିତ ଫୋଟନମାନଙ୍କର ଶକ୍ତି ହିସାବ କର ।

ଉତ୍ତର : (କ) $8.3 cm$, (ଖ) 0.33, 0.94, $5.1 eV$.

୮ । ଗୋଟିଏ ଉତ୍ତେଜିତ Fe^{57} ନିଉକ୍ଲିୟସର ଗୋଟିଏ $14.4 keV$ ବିଶିଷ୍ଟ γ ଫୋଟନ ବିକିରଣ କରିଥାଏ । ଯଦି ଏହା ପ୍ରଥମରୁ ସ୍ଥିର ଥାଇ ମୁକ୍ତ ରହିଥାଏ, ନିଉକ୍ଲିୟସର ଅପସରଣ ଶକ୍ତି ହିସାବ କର । ଏହି ଅପସରଣ ଶକ୍ତି γ ରଶ୍ମିର ରେଖାର ପ୍ରସ୍ଥର କେତେ ଗୁଣ ? γ ରଶ୍ମିର ରେଖାର ପ୍ରସ୍ଥ $4.6 \times 10^{-9} eV$

ବୋଲ୍ ସ୍ଥିର ହୋଇଅଛ । ଯଦ ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ଥିବା Fe^{57}ର ଗୋଟିଏ ଦ୍ୱିଷ୍ଟସ୍ଥ ନଉକ୍ଲିୟସ ଫୋଟନଟିକୁ ଶୋଷଣ କର ଉତ୍ତେଜିତ ଅବସ୍ଥାରେ ଶେଷରେ ସ୍ଥିର ରହିଯାଏ, ତେବେ ଏହା ବକରଣକାଶ ନଉକ୍ଲିୟସଟିର କେତେ ବେଗରେ ନକଟବର୍ତ୍ତୀ ହେବ ?

୯ । ଯଦ ଗୋଟିଏ α କଣିକାର ଓ ଅବଶିଷ୍ଟ ନଉକ୍ଲିୟସର ବସ୍ତୁତ୍ୱର ଯୋଗଫଳ, ଗୋଟିଏ ନଉକ୍ଲିୟସର ବସ୍ତୁତ୍ୱଠାରୁ ଅଧିକ ହୁଏ, ତେବେ ନଉକ୍ଲିୟସଟି α ବନାଶ ପାଇଁ ଅସ୍ଥାୟୀ ହୋଇଥାଏ ।

(କ) ଯଦ Th^{234}ର ବସ୍ତୁତ୍ୱ $234{\cdot}043583u$ ହୁଏ, ତେବେ U^{238}ରୁ ନଷ୍କାସିତ α କଣିକାଗୁଡ଼ିକର ସର୍ବାଧିକ ଗତଜ ସର୍ବାଧିକ ଗତଜ ଶକ୍ତି ହସାବ କର ।

(ଖ) ଯେକୌଣସି α ବକରଜ ପ୍ରଥମରୁ ସ୍ଥିର ଥିଲେ ଏହାର ସର୍ବାଧିକ ଗତଜ ଶକ୍ତି

$$meV\text{ରେ } K = 931{\cdot}48\ ({}_{z}M^{A} - {}_{z-2}M^{A-4} - {}_{2}He^{4}) \times \left(1 - \frac{4}{A}\right)$$

ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହେବ, ଏହା ଦେଖାଅ । ଏଠାରେ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସମିକୃତ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଏକକରେ ଦଆଯାଇଅଛ ।

୧୦ । ଗୋଟିଏ ପଜିଟ୍ରନ ଓ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗୋଟିଏ ପଜିଟ୍ରନିୟମ "ପରମାଣୁ" ବନ୍ଧ ଉତ୍ତେଜିତ ଅବସ୍ଥାରେ ତଆର କରିଥିଲ । ପଜିଟ୍ରନିୟମ୍‌ଟି ନମ୍ନତର ଶକ୍ତିସ୍ତର-ମାନଙ୍କୁ ସଂକମିତ ହେବାବେଳେ ଫୋଟନଗୁଡ଼ିଏ ବକରଣ କରିଥାଏ । ପଜିଟ୍ରନିୟମର $n=5$ରୁ $n=1$କୁ ଓ $n=3$ରୁ $n=1$କୁ ସଂକ୍ରମଣଜନିତ ଫୋଟନଗୁଡ଼ିକ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ହସାବ କର ।

୧୧ । ଦେଖାଅ ଯେ, ଗୋଟିଏ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ରଭାବରେ ଥିବା ଅର୍ଥୋପଜିଟ୍ରନିୟମର ଗୋଟିଏ ଦ୍ୱି-ଫୋଟନ ପ୍ରଣାଳୀରେ ବନାଶ ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମଦ୍ୱାରା ନଷିଦ୍ଧ; କନ୍ତୁ ଗୋଟିଏ ପାରାପଜିଟ୍ରନିୟମର ଦ୍ୱିଫୋଟନ ପ୍ରଣାଳୀରେ ବନାଶ ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମଗୁଡ଼ିକର ସର୍ତ୍ତଗୁଡ଼ ପୂରଣ କରିଥାଏ ।

୧୨ । ପଜିଟ୍ରୋନିୟମର ଦ୍ୱିଫୋଟନ ବିନାଶରେ ଦେଖାଗଲା ଯେ, ଗୋଟିଏ 0·42meV ଫୋଟନ-Z ଦିଗରେ ଗତି କଲା ଓ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ଫୋଟନ Z ଅକ୍ଷ ସହିତ 37° କୋଣରେ ଗତି କଲା । ଯଦି ପଜିଟ୍ରୋନିୟମଟି ପ୍ରଥମରୁ ସ୍ଥିର ଥାଏ, ଦ୍ୱିତୀୟ ଓ ତୃତୀୟ ଫୋଟନର ଶକ୍ତି ନିରୂପଣ କର ଏବଂ ତୃତୀୟଟି z ଅକ୍ଷ ସହିତ କେତେ କୋଣ କରିବ ବାହାର କର ।

ଉତ୍ତର : 0·35 ଓ 0·25 meV; 56°.

୧୩ । ଗୋଟିଏ ମୋମେଣ୍ଟମ୍ ଫ୍ରେମରେ K^+ ଗତିଜଶକ୍ତି ଓ P^+ ସଂବେଗବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ପଜିଟ୍ରନ ଏବଂ K^- ଗତିଜଶକ୍ତି ଓ P^- ସଂବେଗ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗୋଟିଏ ଅତି ଶକ୍ତିଶାଳୀ γ ଫୋଟନର ବସ୍ତୁ ସହିତ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଫଳରେ ଉତ୍ପନ୍ନ ହେଲେ । ଯେଉଁ ଫ୍ରେମ୍‌ରେ (ଅକ୍ଷ ପ୍ରଣାଳୀରେ) ଏ ଦଳର ଶୂନ୍ୟ ସଂବେଗ ହେବ ସେହି S' ଫ୍ରେମ୍‌ର ଗତିବେଗ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର । S' ଫ୍ରେମରେ ପଜିଟ୍ରନର ଗତିଜଶକ୍ତି ହିସାବ କର ।

୧୪ । ଗୋଟିଏ ଲେଡ୍ ନିଉକ୍ଲିୟସର ବିଦ୍ୟୁତ କ୍ଷେତ୍ର ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ବିଯୁକ୍ତ ମ୍ୟୁଅନ ବନ୍ଦୀ ହୋଇ ଗୋଟିଏ ମ୍ୟୁଅନୀୟ ପରମାଣୁ ଗଠନ କଲା । ଯଦି ମ୍ୟୁଅନଟି $n=5$ ଅବସ୍ଥାରେ ଥାଏ ଓ ବୋର୍‌ଙ୍କ ମଡ଼େଲ ଧରି ନିଆଯାଏ, ତେବେ ସେ ଅବସ୍ଥାରେ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ଓ କକ୍ଷର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର । ଯଦି ମ୍ୟୁଅନଟି $n=2$ ଅବସ୍ଥାକୁ ସଙ୍କ୍ରମିତ ହୁଏ, ବିକିରିତ ଫୋଟନର ଶକ୍ତି ଓ ନୂତନ କକ୍ଷର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

୧୫ । କେଉଁ ନିଉକ୍ଲାଇଡ୍ ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ବିଯୁକ୍ତ ପାୟନର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ନିଉକ୍ଲାଇଡ୍‌ର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ସହିତ ପ୍ରାୟ ସମାନ ହେବ ? (ଏଠାରେ ନିଉକ୍ଲାଇଡ୍‌ର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ସମୀକରଣ ୧୦·୬ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଛି ବୋଲି ଧରିନିଅ) (ଅନୁମାନ କର ଯେ, $A=2Z$, ଏକ୍ଷେତ୍ରରେ ଏହା ଗୋଟିଏ ଉତ୍କୃଷ୍ଟ ଅସନ୍ନ) । ବୋର୍ ମଡ଼େଲ ଅନୁସାରେ ଏହି ଅବସ୍ଥାରେ ପାୟନର ଶକ୍ତି କେତେ ?

୧୬ । ଗୋଟିଏ ଯୁକ୍ତ ମ୍ୟୁଅନ ସ୍ଥିର ଥିବାବେଳେ ସେଥିରୁ ବିନାଶ ଦ୍ୱାରା ଜାତ ଗୋଟିଏ ପଜିଟ୍ରନର ସର୍ବାଧିକ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ହିସାବ କର । ଦୁଇ ନ୍ୟୁଟ୍ରିନୋଙ୍କର ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଶୂନ୍ୟ ବୋଲି ଧରିନିଅ ।

୧୭ । ମ୍ୟୁ ନ୍ୟୁଟ୍ରିନୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ସ୍ଥିର ଥିବା ପାୟନର ବିନାଶ ଦ୍ୱାରା କେତେ ସଂବେଗ ନେଇ ଗତି କରେ ବାହାର କର ।

ଉତ୍ତର : $1{\cdot}57\times10^{-20}kg-m/s.$

୧୮ । ଗୋଟିଏ ଅଧିକ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ତ୍ୱରଣକାରୀ ଦ୍ୱାରା ସୃଷ୍ଟ ପାୟନମାନଙ୍କର ଲାବରେଟରୀ ଫ୍ରେମରେ ବେଗ $v=0{\cdot}8000c$ । ଏହି ଫ୍ରେମରେ (କ) ପାୟନମାନଙ୍କର ପ୍ରଶମିତ ଅର୍ଦ୍ଧ-ଜୀବନ କେତେ ? ଏବଂ (ଖ) ଏହି ସମୟ ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ପାୟନ କେତେ ଦୂର ଗତି କରିଥିବ ?

୧୯ । ଯଦି ବିନାଶ ହୋଇଥିବା କଣିକା ପ୍ରଥମରୁ ସ୍ଥିର ଥାଏ, ନିମ୍ନଲିଖିତ ପ୍ରତ୍ୟେକ କ୍ରିୟାରେ ବିକିରିତ γ ଫୋଟନଗୁଡ଼ିକର ଶକ୍ତି ସ୍ଥିର କର : (କ) $\pi^{\circ}\rightarrow\gamma+\gamma$; (ଖ) $\eta\rightarrow\gamma+\gamma$, (ଗ) $\Sigma^{\circ}\rightarrow\Lambda+\gamma$

୨୦ । କୌଣସି ଫଟୋଗ୍ରାଫିକ ଇମଲସନରେ ନିଉକ୍ଲିୟସ ବିସ୍ଫୋରଣ ଦ୍ୱାରା ସୃଷ୍ଟ ତାରକା ଗୁଡ଼ିକରେ ସାଧାରଣତଃ ଯୁକ୍ତ ଓ ବିଯୁକ୍ତ ପାୟନ ଜଣାଯାଇଥାଆନ୍ତି । ଗୋଟିଏ A_g ନିଉକ୍ଲିୟସର (ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ—$5\times10^{-15}m$) ପୃଷ୍ଠଦେଶରେ ପାୟନଗୁଡ଼ିକ ଜନ୍ମ ଲଭିଥାନ୍ତି ବୋଲି ଧରିନେଇ ନିଉକ୍ଲିୟସରୁ ଖସିଯିବାପାଇଁ ଗୋଟିଏ π^{-}ର ସର୍ବନିମ୍ନ ଶକ୍ତି କେତେ ହେବ, ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର । ଇମଲସନ ମଧ୍ୟରେ ଦେଖାଯାଉଥିବା ଯୁକ୍ତ ପାୟନଗୁଡ଼ିକର ଶକ୍ତି $4meV$ରୁ ଅଧିକ ଓ ଅନେକ ବିଯୁକ୍ତ ପାୟନର ଶକ୍ତି ଏହାଠାରୁ ବହୁତ କମ୍ ହୋଇଥାଏ । ଏହା କାହିଁକି ହୁଏ ବୁଝାଅ ।

୨୧ । ଗୋଟିଏ ଆଣ୍ଟିପ୍ରୋଟନ ଗୋଟିଏ ଡ୍ୟୁଟେରନ ଦ୍ୱାରା ବନ୍ଦୀ ହେଲେ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ପ୍ରକ୍ରିୟା ମଧ୍ୟରୁ ଗୋଟିଏ $\bar{p}+d\rightarrow n+\pi^{\circ}$ । ଯଦି $\bar{p}$ ଓ ଡ୍ୟୁଟେରନ ଉଭୟ ପ୍ରଥମରୁ ସ୍ଥିର ଥାଆନ୍ତି, π° ଓ ନିଉଟ୍ରନର ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ପରେ ମୋଟ ଶକ୍ତି ସବୁ ନିରୂପଣ କର ।

ଉତ୍ତର : $1{\cdot}25GeV$, $1{\cdot}56GeV$.

ଏକାଦଶ ଅଧ୍ୟାୟ

କଣିକାଗୁଡ଼ିକର ତରଙ୍ଗଗୁଣ

ଏହି ଅଧ୍ୟାୟର ବିଷୟବସ୍ତୁକୁ ଦାର୍ଶନିକ ଦୃଷ୍ଟିରେ ଗ୍ରହଣ କରିବାକୁ ହେବ । ସିଦ୍ଧାନ୍ତ ଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରଥମରୁ ଆମର ଜ୍ଞାନେନ୍ଦ୍ରିୟମାନଙ୍କର ଅନୁଭୂତି ସହିତ ଖାପ ନଖାଇଲେ ମଧ୍ୟ ସେଗୁଡ଼ିକୁ ଗ୍ରହଣ କରିବାକୁ ହେବ । ଗ୍ରୀକ୍‌ମାନଙ୍କ ସମୟରୁ ଯେଉଁ ବିଶ୍ୱାସବଳରେ କୌଣସି ଦ୍ୱିଧା ନକରି କଥାଗୁଡ଼ିକୁ ଗ୍ରହଣ କରିସିବାକୁ ହେଉଥିଲା । ଯଥା—ବସ୍ତୁକଣିକା-ମାନଙ୍କର ସମାହାର, ଏଠାରେ ମଧ୍ୟ ବିଷୟଗୁଡ଼ିକୁ ସେହିପରି ·ଗ୍ରହଣ କରିସିବାକୁ ହେବ । ଆମେ ସପ୍ତମ ଅଧ୍ୟାୟରେ ଦେଖିଆସିଛେ ଯେ କଣିକା ଓ ତରଙ୍ଗ ଉଭୟ ଗୁଣ ଆଲୋକର ରହିଛି । ତେବେ ମଧ୍ୟ ଆମେ କହି ପାରିବା ଯେ ଆଲୋକ ବସ୍ତୁଠାରୁ ଭିନ୍ନ । ବସ୍ତୁକୁ ଆମେ ଦେଖିପାରୁ, ଆଲୋକକୁ ଅମେ ପରୋକ୍ଷଭାବରେ ପରୀକ୍ଷାଦ୍ୱାରା ଜାଣିପାରୁ ମାତ୍ର । ଆମେ ପ୍ରତ୍ୟକ୍ଷଭାବେ ଦେଖିପାରୁ ଯେ ମୁଠାଏ ବାଲି କଣିକାମାନଙ୍କର ସମାହାର । ସାଧାରଣ ଅନୁଭୂତିରେ ଏ କଣିକାଗୁଡ଼ିକ କେବେ ହେଲେ ତରଙ୍ଗର ଗୁଣ ଦେଖାନ୍ତି ନାହିଁ । ବାଲି କଣିକାଗୁଡ଼ିକୁ ଅମେ ସ୍ପଷ୍ଟଭାବରେ ଦେଖି ପାରୁଥିଲେବି, ସେଗୁଡ଼ିକ ଅଣୁ ବା ପରମାଣୁ ସବୁ ମିଳିତ ହୋଇ ଗଠିତ ଏବଂ ଏମାନେ ପୁଣି ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ, ପ୍ରୋଟନ ନିଉଟ୍ରନରେ ତିଆରି । ଏହି ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ, ପ୍ରୋଟନ, ନିଉଟ୍ରନ ବା ଅଣୁ ବା ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକୁ ଆମେ ପ୍ରତ୍ୟକ୍ଷଭାବରେ ଦେଖିପାରୁନାହିଁ; ଠିକ୍ ଯେପରି ଆଲୋକର ତରଙ୍ଗ ବା ଫୋଟନକୁ ଆମେ ଦେଖିପାରୁ ନାହିଁ । ଫୋଟନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ବିଭିନ୍ନ ପ୍ରମାଣ ଯେପରି ଅପ୍ରତ୍ୟକ୍ଷ, ସେହିପରି ଅପ୍ରତ୍ୟକ୍ଷଭାବେ ମିଳୁଥିବା ଏହି ତଥାକଥିତ କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ବସ୍ତୁର ତରଙ୍ଗବାଦ ତତ୍ତ୍ୱ ପ୍ରଧାନତଃ ପ୍ରଯୁଜ୍ୟ । ଏହି ଅଧ୍ୟାୟରେ ଆମେ ଏହି ପ୍ରଧାନ ବିଷୟଟି ସମ୍ବନ୍ଧରେ ସଂକ୍ଷିପ୍ତ ସୂଚନା

ହେବୁ । କପରି ବସ୍ତୁ ତରଙ୍ଗର ଧାରଣା ପ୍ରଚଳନ ଓ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଭୌତିକୀର ଧାରଣାରୁ ଗଢ଼ି ଉଠିଛି, ତାହା ଦର୍ଶାଇବା ଆମର ଉଦ୍ଦେଶ୍ୟ ହେବ । ଆବଶ୍ୟକୀୟ ପରୀକ୍ଷାମୂଳକ ପ୍ରମାଣ ଗୁଡ଼ିକ ସଂକ୍ଷେପରେ ଦିଆଯିବ ।

11·1 ବସ୍ତୁ ତରଙ୍ଗ :

ଊନବିଂଶ ଶତାବ୍ଦୀର ମଧ୍ୟଭାଗବେଳକୁ ଶକ୍ତି ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମର ଆବିଷ୍କାର ହେବାରୁ ଭୌତିକବିଜ୍ଞାନୀମାନେ ଗ୍ରହଣ କରିଥିଲେ ଯେ ଭୌତିକ ଜଗତ ଦୁଇଟି ପ୍ରଧାନ ସତ୍ତା ନେଇ ଗଠିତ, ଯଥା—ବସ୍ତୁ ଓ ଶକ୍ତି; ଏ ପ୍ରତ୍ୟେକ ସଂରକ୍ଷିତ । ଏହି ଦୁଇଟି ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମକୁ ମୂଳଦୁଆ କରି ପ୍ରଚଳନ ଭୌତିକୀର ଅଧିକାଂଶ ଗଠିତ । 1900 ମସିହାବେଳକୁ ବସ୍ତୁର କଣିକା ଗୁଣ ଦୃଢ଼ଭାବରେ ପ୍ରତିପାଦିତ ହୋଇଥିଲା, ଠିକ୍ ଆଲୋକର ତରଙ୍ଗ ଗୁଣ ପରି । ଆଉ ମଧ୍ୟ 1910 ମସିହାବେଳକୁ ପ୍ଲାଙ୍କଙ୍କର କ୍ୱାଣ୍ଟମ ତତ୍ତ୍ୱ ଓ ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନଙ୍କର ଆଲୋକ ବିଦ୍ୟୁତ ସମୀକରଣ ସାଙ୍ଗକୁ ବହୁ ପରୀକ୍ଷାମୂଳକ ପ୍ରମାଣ ମିଶି ସ୍ପଷ୍ଟ କରି ଦେଇଥିଲା ଯେ ଆଲୋକର କଣିକା ପରି ଗୁଣ ଅଛି । 1920 ବେଳକୁ ବିକିରଣର ଦ୍ୱୈତଧର୍ମ ସାଧାରଣଭାବରେ ସ୍ୱୀକୃତ ପାଇ ସାରିଥିଲା, ଅବଶ୍ୟ ତାହା ଅବୋଧ୍ୟ ରହିଥିଲା ।

ଏହି ସମସ୍ତ ମଧ୍ୟରେ, ବସ୍ତୁ ଯେ କେବଳ କଣିକା, ତାଛଡ଼ା ଅନ୍ୟ କୌଣସି ଚିନ୍ତା ଆସି ନଥିଲା; କିନ୍ତୁ 1924ରେ ଲୁଇସ୍ ଡ଼ି ବ୍ରଗ୍ଲି ସାହସର ସହିତ ପ୍ରକାଶ କଲେ ଯେ ବସ୍ତୁ କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ଏବଂ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟଭାବରେ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ କେତେକ ତରଙ୍ଗ ଗୁଣର ଅଧିକାରୀ; ତେଣୁ ସେମାନେ ମଧ୍ୟ ଦ୍ୱୈତଧର୍ମ ପ୍ରକାଶ କରି ପାରନ୍ତି । ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ତରଙ୍ଗ ଧର୍ମ କପରି କ୍ୱାଣ୍ଟମ ତତ୍ତ୍ୱର ଏକ ନୂତନ ଭିତ୍ତି ଦେବ, ସେ ସେଥିପାଇଁ ଗୋଟିଏ ବାଟର ସୂଚନା ଦେଲେ । ସେ ଦେଇଥିବା ଯୁକ୍ତି ଏହିପରି ସଂକ୍ଷେପରେ ଦିଆଯାଇପାରେ । (୧) ପ୍ରକୃତି ସମତାପ୍ରିୟ, (୨) ତେଣୁ ଦୁଇଟି ପ୍ରଧାନ ସତ୍ତା, ବସ୍ତୁ ଓ ଶକ୍ତି, ନିଶ୍ଚୟ ପରସ୍ପର ସମ ହୋଇଥିବେ, (୩) ଯଦି (ବିକିରଣ) ଶକ୍ତି ତରଙ୍ଗରୂପୀ ଏବଂ କଣିକା, ବସ୍ତୁ ନିଶ୍ଚୟ କଣିକାରୂପୀ ଏବଂ ବା ତରଙ୍ଗ ହୋଇଥିବ ।

ପ୍ରଥମ ଅଧ୍ୟାୟରେ ଡି ବ୍ରଗ୍ଲି ଆଲୋକର ତଥ୍ୟଗୁଡ଼ିକୁ ଆଲୋକ କଣିକା ବା ଫୋଟନ ସାହାଯ୍ୟରେ ବୁଝାଇବାର ଚେଷ୍ଟା କରିଥିଲେ । ଯଦି ଆଲୋକର ଶକ୍ତି ଫୋଟନରେ

କେନ୍ଦ୍ରୀଭୂତ ହୋଇଛି, ତେବେ ବିକିରଣ ଘଟଣାଟିକୁ କିପରି ବୁଝାଯିବ ? ପରବର୍ତ୍ତୀ ଆଲୋକ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ପ୍ରଭାବକୁ ବୁଝାଇବାପାଇଁ ଫୋଟନ ସହିତ କୌଣସି ପ୍ରକାରର ତରଙ୍ଗ ସମାବେଶ କରିବାକୁ ହେବ । ଶକ୍ତି ଯେ ଏ ସମସ୍ତ ତରଙ୍ଗ ଦେହରେ ଖେଳେଇ ହୋଇ ରହିଛି, ଆମେ ସେକଥା ଆଉ କହି ପାରିବାନାହିଁ; ପୁରାତନ ଭୌତିକୀରେ ସେପରି ବୁଝା ଯାଉଥିଲା । ହେଲେ ବି ଗୋଟିଏ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ବିନ୍ୟାସରେ କେଉଁଠାରେ ଶୋଷିତ ହୋଇ ଫୋଟନଗୁଡ଼ିକ ସେମାନଙ୍କର ପ୍ରଭାବ ଦେଖାନ୍ତି, ତାହା କୌଣସିମତେ ତରଙ୍ଗଦ୍ୱାରା ନିର୍ଦ୍ଧାରିତ ହୋଇଥାଏ । ବୈଦ୍ୟୁତିକ ବିନ୍ୟାସର ପୁଙ୍ଖାନୁପୁଙ୍ଖ ବର୍ଣ୍ଣନା ତରଙ୍ଗଗୁଡ଼ିକର କଳା ସମ୍ପର୍କ ଉପରେ ବିଶେଷଭାବେ ନିର୍ଭର କରେ, ତେଣୁ ଡି ବ୍ରଗ୍ଲି ଏହି ତରଙ୍ଗଗୁଡ଼ିକୁ କଳା ତରଙ୍ଗ ନାମ ଦେଇଥିଲେ । ସେ ଏମାନଙ୍କର ଆବୃତ୍ତି νକୁ ଏପରି ମୂଲ୍ୟ ଦେଲେ ଯେପରି ଫୋଟନର ଶକ୍ତିର ମୂଲ୍ୟ ହେଲା $h\nu$ ।

ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁ କଣିକାରେ ଶକ୍ତି ଅଛି; ଡି ବ୍ରଗ୍ଲିଙ୍କ ମତାନୁସାରେ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ମର୍ଯ୍ୟାଦାର ମୂଳକଥା ହେଲା ଯେ, କୌଣସି ନଥାଇ କୌଣସି ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଅବସ୍ଥାନର କଳ୍ପନା କରିବା ସମ୍ଭବ ନୁହେଁ । ତେଣୁ ବସ୍ତୁ କଣିକାସବୁ କୌଣସିପ୍ରକାରର କଳା ତରଙ୍ଗ ସହ ସଂଯୁକ୍ତ ହେବା ଉଚିତ । ଏହି ତରଙ୍ଗଗୁଡ଼ିକ ମଧ୍ୟ ସୁବିଧାଜନକ ଅବସ୍ଥାରେ ବୈଦ୍ୟୁତିକରଣ ପ୍ରଭାବ ଦେଖାଇବା ଉଚିତ । ଆଉ ମଧ୍ୟ ସେହି ବସ୍ତୁ ସହିତ ସଂଯୁକ୍ତ ତରଙ୍ଗର ଆବୃତ୍ତି ତା'ର ଶକ୍ତି ଦ୍ୱାରା h ସହିତ ସମାନ ହେବ । ତରଙ୍ଗକଣା ଦ୍ୱୈତଧର୍ମ ବସ୍ତୁକଣିକାଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରତି ପ୍ରୟୋଗ କରିବାକୁ ଡି ବ୍ରଗ୍ଲି ଚେଷ୍ଟା କଲେ, କେବଳ ସମ୍ଭବ ହେଉଥିବା ଆପେକ୍ଷିକୀୟ ବିସ୍ତରରେ । ସେ ସ୍ଥିର ଶକ୍ତି m_0c^2କୁ ଶକ୍ତି ମଧ୍ୟରେ ଗ୍ରହଣ କରିଥିଲେ; କିନ୍ତୁ ଆମେ ଶ୍ରୋଡ଼ିଙ୍ଗରଙ୍କୁ ଅନୁସରଣ କରି ପ୍ରଥମେ ଅଣଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱ ଆଲୋଚନା କରିବା । ଆମେ ଅନୁମାନ କରିବା ଯେ କୌଣସି ବସ୍ତୁକଣିକାର ବସ୍ତୁତ୍ୱ m ହେଲେ ଓ ସେ v ଗତି ବେଗରେ ଗତି କରୁଥିଲେ ତା ସହିତ ଆବୃତ୍ତି ν ସମାବେଶ କରାଯିବ, ଯେପରିକି

$$h\nu = \tfrac{1}{2}mv^2 + P = F \qquad (୧୧.୧)$$

ଏଠାରେ h ହେଲା ପ୍ଲାଙ୍କ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ ଏବଂ p ହେଲା କଣିକାର ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ।

ଏହି ତରଙ୍ଗଗୁଡ଼ିକର ଭୌତିକ ପ୍ରକୃତି ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଡି ବ୍ରଗ୍ଲି କିଛି ମତ ଦେଲେ ନାହିଁ । ଆମେ କହିପାରିବା ନାହିଁ ଯେ ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁକଣିକା କେତେକ ତରଙ୍ଗର

ସମାହାର, କାରଣ ତା'ର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଓ ଶକ୍ତି (ଏବଂ ଯଦି ତା'ର ସ୍ପର୍ଶ ଥାଏ, ତାହା ମଧ୍ୟ) ଏହି ତରଙ୍ଗରେ ବ୍ୟାପିତ ହୋଇଯିବ ଏବଂ ଫଳତଃ ଅତି ଶୀଘ୍ର ସ୍ପର୍ଶଆଡ଼େ ଖେଳେଇ ହୋଇଯିବ । ସ୍ପର୍ଶଆଡ଼େ ଖେଳେଇ ହୋଇଯିବା ତରଙ୍ଗର ଧର୍ମ । ଏହି ତରଙ୍ଗକୁ ଧାରଣା କରି ହେଉନାହିଁ ବୋଲି ଅବଶ୍ୟ ଆମେ ବ୍ୟସ୍ତ ହୋଇ ପଡ଼ିବୁ ନାହିଁ । ଆମେ ଆଲୋକ ବିଜ୍ଞାନରେ ଆମର ଅନୁଭୂତି ମନେ ପକାଇବା । ପୁରାତନ ମତ ଅନୁସାରେ ଆଲୋକକୁ ଏକ ତରଙ୍ଗ ବୋଲି ଧାରଣା କରିବା ସହଜ; କିନ୍ତୁ ଆମେ ଯଦି ଏହି ଧାରଣାକୁ ମାନିନେବା, ତେବେ ଗୋଟିଏ ଆଲୋକ ରଶ୍ମି ଗୁଚ୍ଛକୁ ଫୋଟନମାନଙ୍କର ଏକ ସ୍ରୋତ ବୋଲି ଅନୁମାନ କରିବା କଷ୍ଟ । ସେହିପରି, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଓ ପ୍ରୋଟନର କଣିକା ସେତେବେଳ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ମାନି ନେବା, ସେଗୁଡ଼ିକ ସହିତ ଥିବା ତରଙ୍ଗର କୌଣସି ମୂର୍ତ୍ତି ଧାରଣା କରି ପାରିବାନାହିଁ । କହିବାକୁ ଗଲେ ବୋଧହୁଏ, ସେଗୁଡ଼ିକ କେବଳ ଗାଣିତିକ ତରଙ୍ଗ, ହିସାବ କରିବାପାଇଁ ଗୋଟିଏ ଉପାୟ ମାତ୍ର । ଏଇବାଟେ କଥାଟା ବୁଝିଲେ, ଏହିପରି ଅନେକ କଥାରେ ଭୌତିକ ବିଜ୍ଞାନରେ ଯେପରି କରାଯାଇଛି, ତା'ର ପୁନରାବୃତ୍ତି ହେବ ମାତ୍ର । ସାର କଥା ହେଲା, ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରର ମୌଳିକ ପ୍ରକୃତି ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଆମର ସଠିକ ଜ୍ଞାନ ନାହିଁ, ତଥାପି $\vec{B}$ ରାଶିଟିକୁ ଅତି ପରିଚିତ ରାଶି ଭାବରେ ବ୍ୟବହାର କରିବାରେ ଆମର ଆଦୌ ଦ୍ୱିଧା ନଥାଏ ।

11·2 ଜ୍ୟାମିତିକ ଆଲୋକ ବିଜ୍ଞାନ ପରି ତରଙ୍ଗର ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ :

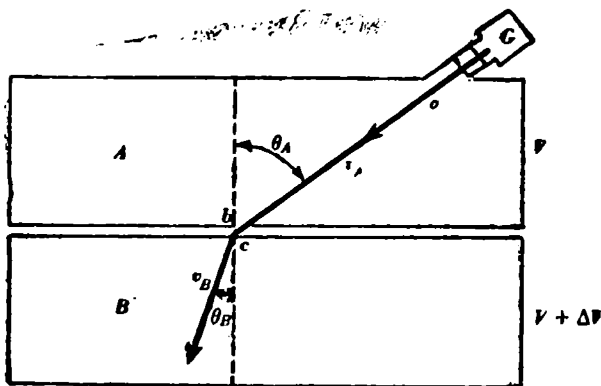
ଯଦି ସବୁ ବସ୍ତୁ କଣିକା ସହି ତରଙ୍ଗ ସଂଯୁକ୍ତ ହୁଏ ଏବଂ ସେମାନଙ୍କର ଗତି ନିରୂପଣ କରିବାରେ ଅଂଶ ଗ୍ରହଣ କରେ, ଯାନ୍ତ୍ରିକୀର ନିୟମଗୁଡ଼ିକ ଓ ତରଙ୍ଗ ଗତିର ନିୟମଗୁଡ଼ିକ ସମାନ୍ତର ହେବା ଉଚିତ । କାରଣ କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ନିଷ୍ଚୟ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀର ନିୟମ ମାନନ୍ତି; ଅନ୍ତତଃ କେତେକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ! ବହୁକାଳ ପୂର୍ବେ ହାମିଲ୍‌ଟନ୍ ସୂଚାଇଥିଲେ ଯେ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀର ନିୟମ ଓ ସାଧାରଣ ଜ୍ୟାମିତିକ ଆଲୋକ ବିଜ୍ଞାନର ନିୟମଗୁଡ଼ିକ ମଧ୍ୟରେ ନିବିଡ଼ ସମାନ୍ତରାଳ ସମ୍ପର୍କ ରହିଅଛି । ଏଥିରୁ, ଡି ବ୍ରଗ୍ଲି ପ୍ରସ୍ତାବ ଦେଲେ ଯେ ବସ୍ତୁ ତରଙ୍ଗ ପାଇଁ ଜ୍ୟାମିତିକ ଆଲୋକ ବିଜ୍ଞାନର ନିୟମଗୁଡ଼ିକ ଯେଉଁ ଅବସ୍ଥାରେ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହେବ, ସେହି ଅବସ୍ଥାରେ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀର ପରିଚିତ ନିୟମଗୁଡ଼ିକ ମୋଟାମୋଟି ମିଳିଯାଇପାରେ ।

ସାଧାରଣ ଜ୍ୟାମିତିକ ଆଲୋକର ବିଜ୍ଞାନର ଗୋଟିଏ ମୌଳିକ ନିୟମ ହେଲା— ଗୋଟିଏ ସମାଙ୍ଗ ମାଧ୍ୟମରେ ଆଲୋକ ସରଳରେଖାରେ ବା ରଶ୍ମିରେ ଗତି କରେ । ଯେପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଆଲୋକ ରଶ୍ମି ଗୁଚ୍ଛର ଚଉଡ଼ା ଆଲୋକର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ତୁଳନାରେ ବଡ଼ ଥାଏ, ସେପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଏହି ନିୟମ ବହୁ ପରିମାଣରେ ଠିକ୍ ହୁଏ । ଆଲୋକର ସରଳରୈଖିକ ଗତି ତରଙ୍ଗବାଦ ସହିତ ମଧ୍ୟ ଖାପ ଖାଏ; ତେଣୁ ଆମେ କହୁ, ଆଲୋକର କଣିକାଗୁଣ ଏଠାରେ ପ୍ରାଧାନ୍ୟ ଲାଭ କରିଥାଏ; କିନ୍ତୁ ଯେତେବେଳେ ଆଲୋକ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛର ଚଉଡ଼ା ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟର ପରିମାଣ ସହିତ ସମକକ୍ଷ ହୋଇଯାଏ, ସରଳରୈଖିକ ଗତି ନିୟମ ଆଉ କାମ କରେନାହିଁ, ବିବର୍ତ୍ତନ ଘଟଣା ଘଟିଥାଏ ଏବଂ ଆଲୋକର ତରଙ୍ଗଗୁଣ ପ୍ରାଧାନ୍ୟ ଲାଭ କରିଥାଏ । ଯଦି ଏହି ଉପମା ଯାନ୍ତ୍ରିକୀରେ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଏ, ନିଉଟନ୍ ଦୃଶ୍ୟମାନ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ ଆବିଷ୍କାର କରିଥିବା ନିୟମ ଅତି କ୍ଷୁଦ୍ର ବସ୍ତୁ କଣିକା ପାଇଁ ଲାଗିବ ନାହିଁ ବୋଲି କ'ଣ ଆମେ ଆଶା କରିପାରିବା ନାହିଁ ? ଆଲୋକର ଉପମାରୁ ଆମେ ଦେଖିବା ଯେ ଅଦୃଶ୍ୟଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଜଗତର ବସ୍ତୁ, ତରଙ୍ଗଗୁଣ ପ୍ରକାଶ କରିବ ।

ସାଧାରଣ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକ ବସ୍ତୁ ତରଙ୍ଗର ଜ୍ୟାମିତିକ ଆଲୋକ ବିଜ୍ଞାନ ପରି ହେଲେ, ଆମେ ଏହି ତରଙ୍ଗଗୁଡ଼ିକର ଗୁଣ ଏପରି ସ୍ଥିର କରିବା ଯେପରିକି ସୁବିଧାଜନକ ଅବସ୍ଥାରେ ଏଥିରୁ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀର ନିୟମଗୁଡ଼ିକ ବାହାର ପାରିବ । ଜ୍ୟାମିତିକ ଆଲୋକ ବିଜ୍ଞାନ ଦୁଇଟି ନିୟମ ଉପରେ ପ୍ରତିଷ୍ଠିତ । ପ୍ରତିଫଳନ ଓ ପ୍ରତିସରଣର ନିୟମଗୁଡ଼ିକ । ଗୋଟିଏ ଅନମନୀୟ କାନ୍ଥରୁ ଆଘାତ ପାଇ ଗୋଟିଏ ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ବଲ୍ ଯେଉଁ ନିୟମ ଅନୁସାରେ ପ୍ରତ୍ୟାବର୍ତ୍ତନ କରିଥାଏ, ପ୍ରତିଫଳନ ନିୟମ ଠିକ୍ ସେହି ନିୟମ । ତେଣୁ ବସ୍ତୁ ତରଙ୍ଗକୁ ଏ ନିୟମ ପ୍ରୟୋଗ କରିବାରେ କିଛି ଅସୁବିଧା ନାହିଁ । ବଳର ପ୍ରଭାବରେ ଗୋଟିଏ କଣିକାର ବାର୍ଥକ ଗତି ପ୍ରତିସରଣର ଅନୁସାରୀ ।

ଜ୍ୟାମିତିକ ଆଲୋକ ବିଜ୍ଞାନର ପ୍ରତିସରଣର ଅନୁରୂପ ଗୋଟିଏ ଯାନ୍ତ୍ରିକ ଘଟଣା ନିଆଯାଉ । ଗୋଟିଏ ଉପଯୁକ୍ତ ଉଦ୍‌ଗମରୁ (ଚିତ୍ର ୧୧.୧) ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଧାର ଗୋଟିଏ ଛିଦ୍ର a ମଧ୍ୟଦେଇ ଗୋଟିଏ ମୁଦା ଧାତବ ବାକ୍ସ A ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରବେଶ କରୁ । ଏହି ବାକ୍ସର ବିଭବ ଫିଲମେଣ୍ଟର ବିଭବ ତୁଳନାରେ V ହେଉ । ଏହି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ b ଛିଦ୍ର ଦେଇ Aରୁ ନିର୍ଗମ ହୋଇ ଆଉ ଗୋଟିଏ ବାକ୍ସ B ମଧ୍ୟରେ C ମଧ୍ୟ

ବେଗ ପ୍ରବେଶ କରୁ । Bର ବିଭବ $V+\Delta V$ ହେଉ । ଦୁଇ ବାକ୍ସ ମଧ୍ୟସ୍ଥ ବିଦ୍ୟୁତ-କ୍ଷେତ୍ର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକର ଗତିବେଗର, ସଂଲଗ୍ନ ତଳ ପ୍ରତି ଅଭିଲମ୍ବ ସ୍ୱରୂପରେ ଥିବା ସଂଯୋଜକରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ଘଟାଇବ ଏବଂ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକର ଗତିପଥରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ



[ଚିତ୍ର ୧୧.୧]

ଘଟି, ଏଗୁଡ଼ିକ B ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରବେଶ କରିବେ । A ଓ Bରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକର ଗତି-ବେଗ ଯଥାକ୍ରମେ v_A ଓ v_B ହେଉ (ଚିତ୍ର ୧୧.୧) । θ_A ଓ θ_B ଏଥି ପଥ ଏବଂ b ଓ c ଠାରେ ବାକ୍ସ ତଳ ପ୍ରତି ଲମ୍ବ ମଧ୍ୟରେ କୋଣ ହେଉ । ଯେହେତୁ ବିଦ୍ୟୁତ୍‌କ୍ଷେତ୍ର ଗତି-ବେଗର ଅନୁଭୂମିକ ସଂଯୋଜକରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ଘଟାଏନାହିଁ,

$$v_A \operatorname{Sin} \theta_A = v_B \operatorname{Sin} \theta_B, \quad \frac{\operatorname{Sin} \theta_A}{\operatorname{Sin} \theta_B} = \frac{v_B}{v_A}$$

ବର୍ତ୍ତମାନ ଯଦି ଆମେ ପ୍ରତିସରିତ ହେଉଥିବା ଆଲୋକ ତରଙ୍ଗ ବା ଅନ୍ୟ କୌଣସି ପ୍ରକାରର ତରଙ୍ଗ ନେବା, ସମ୍ବନ୍ଧଟି ହେବ

$$\frac{\operatorname{Sin} \theta_A}{\operatorname{Sin} \theta_B} = \mu = \frac{u_A}{u_B}$$

ଏଠାରେ μ ହେଲା ଦୁଇ ମାଧ୍ୟମ ପାଇଁ ପ୍ରତିସରଣାଙ୍କ ଏବଂ u_B, u_B ହେଲ ଅନୁରୂପ କଳା ଗତିପଥ । ଶେଷ ଦୁଇଟି ସମୀକରଣର ତୁଳନାରୁ ଫଳ ମିଳିଲା । $\frac{u_A}{u_B} = \frac{v_B}{v_A}$ । ଆମେ

ସ୍ଥିକାର କରିପାରିବା ଯେ ଯଦି ବସ୍ତୁତରଙ୍ଗ ସେହି ପଥରେ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନର ଅନୁସରଣ କରେ, ତରଙ୍ଗର ଗତିବେଗ u ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନର ଗତିବେଗ v ପ୍ରତି ପ୍ରତିଲୋମ ଅନୁପାତୀ ବା

$$u=\frac{b}{v} \qquad (୧୧·୨)$$

ଏଠାରେ b ହେଲା ଗତି ସମସ୍ତରେ ଏକ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ, ଏହା ଆବିଷ୍କାର କରିବାକୁ ରହିଲା । ଯେହେତୁ E ଇଲେକଟ୍ରନର ସମସ୍ତ ଶକ୍ତି ଏବଂ P ଏହାର ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି (ଏଠାରେ $-eV$), ଆମେ $\frac{1}{2}mv^2=E-P$ ପାଇବା; ଏବଂ ଯେହେତୁ ବସ୍ତୁ ତରଙ୍ଗ ପାଇଁ ଆମେ ଅନୁମାନ କରୁଥାଉଁ ଯେ $E=hv$, ଆମେ (୧୧·୨)କୁ

$$u=b\left[\frac{m}{2\,(E-P)}\right]^{\frac{1}{2}}=b\left[\frac{m}{2(hv-P)}\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (୧୧·୨କ)$$

ରୂପରେ ମଧ୍ୟ ଲେଖି ପାରିବା ।

ଏଠାରେ E ବା vର ବିଭିନ୍ନ ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ bର ବିଭିନ୍ନ ମୂଲ୍ୟ ହୋଇପାରେ ।

ଯେକୌଣସି ପ୍ରକାରର କଣିକା ସହ ଥିବା ବସ୍ତୁ ତରଙ୍ଗ ପାଇଁ ସେହି ଏକା ସମୀକରଣ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହେବ, ତୁଏତ bର ବିଭିନ୍ନ ମୂଲ୍ୟ ନେବାକୁ ପଡ଼ିପାରେ । ଏକଥା ସ୍ପଷ୍ଟ ଯେ ପଥ ମଧ୍ୟରେ Pର ମୂଲ୍ୟ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହେବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ତରଙ୍ଗ ଗତିବେଗ u ମଧ୍ୟ ବଦଳିବ । ଆଉ ମଧ୍ୟ, u ଆବୃତ୍ତି v ସଙ୍ଗେ ବଦଳି ତରଙ୍ଗଗୁଡ଼ିକର ବିକ୍ଷେପଣ ଘଟଣାଟି ସମ୍ଭବ ହେବ; ଏପରି କି ଯେଉଁ ଶକ୍ତି ସ୍ଥାନରେ $P=0$, ସେଠାରେ ମଧ୍ୟ ବିକ୍ଷେପଣ ହେବ ।

ଏକଥା ଜାଣି ରଖିବା ଦରକାର ଯେ ଅତି ଜଣାଶୁଣା ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଅଣୁବୀକ୍ଷଣ ଯନ୍ତ୍ର କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହେବାପାଇଁ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନର ଏହି ତରଙ୍ଗ ଗୁଣ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେନାହିଁ । ଏହି ଅଣୁବୀକ୍ଷଣ ଯନ୍ତ୍ରରେ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରଧାନତଃ ପୁରାତନ ଭୌତିକୀ ଅନୁସାରେ ଗତି କରିଥାଏ ଯଦିଓ ସେତେବେଳେ ସେମାନଙ୍କର ଗତି ଆଲୋକ ବୁଝାଯାଇଥିବା ତୁଲ୍ୟ ପ୍ରତିସରଣାଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ହିସାବ କରାଯାଇଥାଏ । ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଅଣୁବୀକ୍ଷଣ ଯନ୍ତ୍ର ସହିତ ବସ୍ତୁ ତରଙ୍ଗର ଏକମାତ୍ର ସମ୍ପର୍କ ହେଲା ଏମାନଙ୍କର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ଯନ୍ତ୍ରଠାରୁ ମିଳିପାରୁଥିବା ସାମ୍ଭାବ୍ୟ ବିଶ୍ଳେଷଣ କ୍ଷମତାର ସୀମା ନିର୍ଦ୍ଧାରଣ କରିଥାଏ, ଠିକ ଯେପରି ସାଧାରଣ

ଅଣୁବୀକ୍ଷଣ ଯନ୍ତ୍ରର ବିଯୋଜନ କ୍ଷମତା ଆଲୋକର ସସୀମ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ଦ୍ୱାରା ସୀମିତ ହୋଇଥାଏ । ତେବେ, ଅମେ ବର୍ତ୍ତମାନ ଦେଖିବା ଯେ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ତରଙ୍ଗଗୁଡ଼ିକର ଦୈର୍ଘ୍ୟ ଏତେ କମ୍ ଯେ ବର୍ତ୍ତମାନର ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଅଣୁବୀକ୍ଷଣ ଯନ୍ତ୍ରଗୁଡ଼ିକର ବିଯୋଜନ କ୍ଷମତା ଅନ୍ୟ କେତେକ ସ୍ଥଳାଗି ସୀମିତ ହୋଇଥାଏ ।

11·3 କଳା ଓ ଗୁଚ୍ଛଗତିବେଗ :

ବସ୍ତୁ ତରଙ୍ଗ ପାଇଁ ପ୍ରତ୍ୟାଶିତ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ଅନ୍ୟ ଏକାପ୍ରକାରରେ ଆବିଷ୍କାର କରାଯାଇପାରେ; ଏହା ମଧ୍ୟ ଡ଼ି ବ୍ରଗ୍ଲିଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରସ୍ତାବିତ ହୋଇଥିଲା । (୧୧·୨) ସମୀକରଣରୁ ଜଣାଯାଉଛି ଯେକୌଣସି ଗୋଟିଏ ତରଙ୍ଗ ଗୋଟିଏ କଣିକା ସହ ସର୍ବଦା ରହି ପାରିବ ନାହିଁ । କାରଣ u ଓ v ସାଧାରଣତଃ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ । ଯେତେବେଳେ ଗତିବେଗ (ବା କଳା ଗତିବେଗ) ଆବୃତ୍ତି ସହ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୁଏ, ତରଙ୍ଗଗୁଡ଼ିକର ଏକ ସସୀମଗୁଚ୍ଛ କଳା ଗତି-ବେଗଠାରୁ ଭିନ୍ନ ଏକ ଗତିବେଗରେ ଗତି କରିଥାଏ । ଏହି ଘଟଣାଟି ପାଣି ଉପରେ ସହଜରେ ଲକ୍ଷ୍ୟ କରାଯାଇପାରେ । ପାଣିର ଉପରିଭାଗରେ ଗତି କରୁଥିବା ତରଙ୍ଗଗୁଚ୍ଛଗୁଡ଼ିକୁ ନିରୀକ୍ଷଣ କଲେ ଦେଖାଯିବ ଯେ ତରଙ୍ଗଗୁଡ଼ିକ ଗୁଚ୍ଛଭାବେ ଯେତେବେଗରେ ଗତି କରନ୍ତି, ସ୍ୱତନ୍ତ୍ରଭାବେ ତା'ର ଦୁଇଗୁଣ ବେଗରେ ଗତି କରିଥାନ୍ତି; ·ଗୁଚ୍ଛର ପୃଷ୍ଠଦେଶରେ ନୂଆ ନୂଆ ତରଙ୍ଗସବୁ ସର୍ବଦା ଉଦ୍ଭବ ହେଉଥାଏ, ତା ମଧ୍ୟଦେଇ ଗତି କରନ୍ତାଏ ଏବଂ ସମ୍ମୁଖରେ ଉଭେଇଯାଏ । ତେଣୁ ଡି ବ୍ରଗ୍ଲିଙ୍କ ସହ ଅମେ ଅନୁମାନ କରିବା ଯେ ବସ୍ତୁ ତରଙ୍ଗର ଗୁଚ୍ଛଗତିବେଗ କଣିକାର ଗତିବେଗ ସହ ସମାନ, ତେବେ ସେମାନଙ୍କର ଗୋଟିଏ ଗୁଚ୍ଛ ଗୋଟିଏ କଣିକାର ଗତି ସଙ୍ଗେ ସଂଶ୍ଲିଷ୍ଟ ।

x ଦିଗରେ ଗତି କରୁଥିବା ଗୋଟିଏ ଆଦର୍ଶ ସମତଳ ତରଙ୍ଗ

$$\psi = A_0 \cos 2\pi \left(\nu t - \frac{x}{\lambda}\right) = A_0 \cos (\omega t - kx) \quad (୧୧·୩)$$

ସମୀକରଣ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇପାରେ ।

ଏଠାରେ A_0 ହେଲା ବିସ୍ତାର, $\omega = 2\pi\nu$ ଏବଂ k ହେଲା ପ୍ରବାହ ସଂଖ୍ୟା ବା $\frac{2\pi}{\lambda}$ ଏହି ତରଙ୍ଗ ପାଇଁ କଳା ଗତିବେଗ ହେଲା $u = \nu\lambda = \frac{\omega}{k}$ ।

ଯେତେବେଳେ କଳା ଗତିବେଗ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ଅନୁସାରେ ବଦଳେ, ଗୋଟିଏ ସସୀମ ତରଙ୍ଗଗୁଚ୍ଛ ଏବଂ ଶକ୍ତିଗୁଚ୍ଛ ଗତିବେଗ νରେ ଗତି କରିଥାଏ । ଯେଉଁ ତରଙ୍ଗମାନଙ୍କର କୌଣିକ ଆବୃତ୍ତି wର ପାଖାପାଖି, ସେମାନଙ୍କର ଗୁଚ୍ଛ ଗତିବେଗ ବାହାର କରିବାପାଇଁ ଦୁଇଟି କୌଣିକ ଆବୃତ୍ତି ସଂଯୋଜକ $w-\Delta w$ ଓ $w+\Delta w$ ବସ୍ତୁରକୁ ନେଲେ ଯଥେଷ୍ଟ ହେବ । ଏହି ଦୁଇ ସଂଯୋଜକର ବିସ୍ତାର A ସମାନ ହେଉ ଏବଂ ସେଗୁଡ଼ିକ

$$\psi_1 = A\cos[(w-\Delta w)t-(k-\Delta k)x]$$
$$\psi_2 = A\cos[(w+\Delta w)t-(k+\Delta k)x]$$

ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୁଅନ୍ତୁ ।

ଏମାନଙ୍କର ଯୋଗଫଳ ନିର୍ଣ୍ଣେୟ ବିସ୍ଥାପନ ହେବ

$$\psi = A\{\cos[(w-\Delta w)t-(k-\Delta k)x] + \cos[(w+\Delta w)t-(k+\Delta k)x]\}$$
$$= 2A\cos(wt-kx)\cos(\Delta wt-\Delta kx)$$

ଏଠାରେ ଆମେ

$$\cos(\theta\pm\phi)=\cos\theta\cos\phi\mp\sin\theta\sin\phi\text{ରେ}$$
$$\theta = wt-kx \text{ ଓ } \phi = \Delta wt\Delta kx$$

ବୋଲି ଥିବା ସମ୍ପର୍କ ବ୍ୟବହାର କରିଥାଉଁ ।

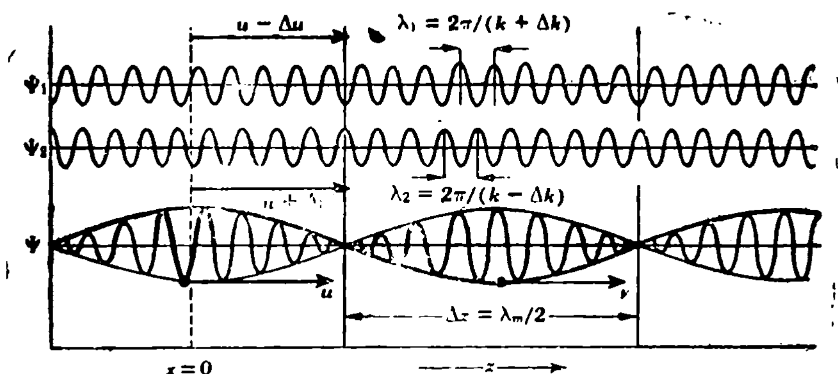
ଦୁଇଟି cosine ସଂଖ୍ୟା ନିର୍ଣ୍ଣେୟ ତରଙ୍ଗରେ (ଚିତ୍ର ୧୧·୬) ବିଷୟକ ଥିବାର ଦେଖାଉଛି । ଏକ ଧ୍ରୁବ କଳା ବିନ୍ଦୁ ପାଇଁ $wt-kx=$ଧ୍ରୁବ ଏବଂ $\frac{dx}{dt}=\frac{w}{K}$ $=\nu\lambda$ ହେଲା କଳା ଗତିବେଗ w.

ଦ୍ୱିତୀୟ cosineର ସାଇକୁ ଯଦି ଗୋଟିଏ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ ସହିତ ସମାନ କରାଯାଏ. $\Delta wt+\Delta kx=$ଧ୍ରୁବ ଏବଂ $\frac{dx}{dt}=\frac{\Delta w}{\Delta k}=\Delta f\Delta\lambda$ ହେଲା ତରଙ୍ଗ ଆବରଣର ଗତିବେଗ ବା ଗୁଚ୍ଛ ଗତିବେଗ ν । ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଆବୃତ୍ତି ν ପାଇଁ ଗୁଚ୍ଛ ଗତିବେଗ ν ହେଲା

$$\nu=\lim_{\Delta k\to 0}\frac{\Delta w}{\Delta k}=\frac{\partial w}{\partial k}=\frac{\partial x}{\partial(1/\lambda)}=-\frac{1}{\lambda^2}\frac{\partial\nu}{\partial\lambda} \qquad (୧୧·୫)$$

ଯେହେତୁ $w = kw$, ଆମେ ଆଉ ମଧ୍ୟ ଲେଖିପାରିବା

$$\nu = \frac{\partial w}{\partial k} = \frac{\partial (ku)}{\partial k} = u + k\frac{\partial u}{\partial k} = w - \lambda\frac{\partial u}{\partial \lambda} \qquad (୧୧.୭)$$



[ଚିତ୍ର ୧୧.୨, ଦୁଇଟି ତରଙ୍ଗର କଳା ଓ ଗୁଚ୍ଛ ଗତିବେଗ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ଓ ଆବୃତ୍ତିର ସାମାନ୍ୟ ଭିନ୍ନ ହୋଇଛି]

ଏଠାରେ ଆଂଶିକ ଅବକଳନ ଲେଖାଯାଇଅଛି, କାରଣ u ଓ ν ଦୁହେଁ λ ଅଗ୍ରତ ଅନ୍ୟ ରାଶି ଉପରେ ନିର୍ଭର କରି ବଦଳିପାରେ ବୋଲି ଏହାଦ୍ୱାରା ସୂଚିତ ହେଉଛି । ଯଥା—ପ୍ରତିସରଣାଙ୍କ ଅପରିବର୍ତ୍ତୀ ନହୋଇପାରେ ।

ଚିତ୍ର ୧୧.୨ରେ ତରଙ୍ଗଗୁଡ଼ିକ କଳା ଗତିବେଗ uରେ ଗତି କରେ ଏବଂ ପ୍ରଧାନତଃ λ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ଓ ପ୍ରଧାନତଃ ν ଆବୃତ୍ତିର ହୁଏ । ଅନ୍ୟ ପକ୍ଷରେ ମଡ୍ୟୁଲନ ଆବରଣର ଗୁଚ୍ଛ ଗତିବେଗ ν ଏବଂ ଏକ ଏକକ-ସମୟରେ ବ ସ୍ପନ୍ଦନ ସଂଖ୍ୟା ଆବୃତ୍ତିର ପ୍ରଭେଦ $2\Delta\nu_0$ ତେଣୁ ମଡ୍ୟୁଲନ ତରଙ୍ଗ ଆବୃତ୍ତି $\Delta\nu$ । ଫଳତଃ ମଡ୍ୟୁଲନ ତରଙ୍ଗର ଦୈର୍ଘ୍ୟ λ_m ହେଲ $\nu/\Delta\nu$, ଏବଂ ମଡ୍ୟୁଲନ ତରଙ୍ଗ ସଂଖ୍ୟା $k_m = 2\pi/\lambda_m$ (୧୧.୪) ସମୀକରଣରୁ ଠିକ୍ Δk ।

ଅତଏବ $\lambda_m = 2\pi/\Delta k$ ।

11·4 ଡି ବ୍ରଗ୍ଲି ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ :

ଡି ବ୍ରଗ୍ଲିଙ୍କୁ ଅନୁସରଣ କରି ଆମେ ଗୋଟିଏ କଣିକାର ବସ୍ତୁତ୍ୱ m, ଗତିବେଗ v ଓ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ λ ହେଲେ ଏମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ସମ୍ବନ୍ଧ ବାହାର କରିବା । ଏଠାରେ ଆମେ ଅନୁମାନ କରିବା ଯେ v ତା'ର ଗୁଚ୍ଛ ଗତିବେଗ । Pକୁ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ ନେଇ ସମୀକରଣ (୧୧·୧)କୁ ଅବକଳନ କଲେ

$$h\frac{\partial \nu}{\partial \lambda} = mv\frac{\partial v}{\partial \lambda}$$ ମିଳିବ ।

ସମୀକରଣ (୧୧·୫) ସାହାଯ୍ୟରେ $\frac{\partial v}{\partial \lambda}$ କୁ ହଟାଇଦେଲେ

$$\frac{\partial \nu}{\partial \lambda} = -\frac{h}{m}\frac{1}{\lambda^2}$$ ମିଳିବ ।

ଏବଂ ସମାକଳନ ଦ୍ୱାରା

$$\nu = \frac{h}{m}\frac{1}{\lambda} + c$$ ମିଳିବ ।

ରେ ମୂଲ୍ୟ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଭାବରେ ସ୍ଥିର କରାଯାଇ ପାରିବ ନାହିଁ । ସରଳତମ ଅନୁମାନ $c=0$ ବୋଲି ନେଲେ, ଆମେ ପାଇବା

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{P} \qquad (୧୧·୭)$$

ଏଠାରେ $P = mv$, କଣିକାର ସଂବେଗ । ତେଣୁ

$$b = uv = \nu\lambda v = h\nu/m$$

ସମୀକରଣ (୧୧·୭)ରୁ ମିଳୁଥିବା ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟକୁ ଡି ବ୍ରଗ୍ଲି ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ କୁହାଯାଏ । ସମୀକରଣଟି ଫୋଟନ ପାଇଁ ଓ ବସ୍ତୁ କଣିକାମାନଙ୍କ ଲାଗି କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହେବ, କାରଣ ଫୋଟନ ପାଇଁ ସଂବେଗ ହେଲା $h\nu/c = h/\lambda$ । (୧୧·୭) ସମୀକରଣ କଣିକା ଓ ତରଙ୍ଗ ଧାରଣାକୁ ଅତି ଓତଃପ୍ରୋତ ଭାବେ ମିଳାଇ ଦେଇଛି; କାରଣ କେବଳ ତରଙ୍ଗବାଦ ଅନୁସାରେ λ ଏକ ସ୍ପଷ୍ଟ ଅର୍ଥ ଅଛି ଏବଂ ସଂବେଗ p, ପ୍ରାକୃତିକ ଭାବରେ ଗୋଟିଏ ଗତିଶୀଳ କଣିକା ସହ ସଂପୃକ୍ତ ।

ଆମେ ବର୍ତ୍ତମାନ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ତରଙ୍ଗ, ପରମାଣୁ ତରଙ୍ଗ ବା ଅଣୁ ତରଙ୍ଗମାନଙ୍କର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ହିସାବ କରିବା । ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସ୍ଥିରାବସ୍ଥାରୁ ଗତି କଲେ, ସାଧାରଣ ବିଭବ ପ୍ରଭେଦ V ମଧ୍ୟରେ ତ୍ୱରଣ ଲାଭ କଲେ ଏବଂ ଏହାର ଗତିଜ ଶକ୍ତି $K = Ve = \frac{1}{2}mv^2$ ଓ ସଂବେଗ $p = mv = \sqrt{2meV}$ ହେଲେ

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2meV}} \text{ ହେବ ।...} \qquad (୧୧'୮)$$

100 – V ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ $\lambda_0 = 1{\cdot}23A^\circ$; 10,000 – V ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ $\lambda_0 = 0{\cdot}123A^\circ$ । ଯେତେବେଳେ m_0c^2 ତୁଳନାରେ $K = Ve$ ହେଯ୍ୟ ନୁହେଁ, (୧୧'୮) ସମୀକରଣ ଆଉ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହେବନାହିଁ ଏବଂ ଏହା ସ୍ଥାନରେ

$$\lambda = \frac{h}{P} = \frac{h}{\sqrt{2m_0k}}\left(1 + \frac{K}{2m_0c^2}\right)^{-\frac{1}{2}} \qquad (୧୧'୮କ)$$

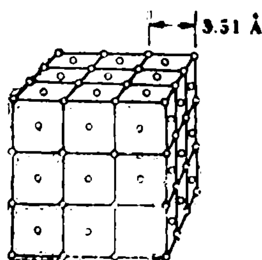
ହେବାକୁ ହେବ । (୧୧'୮କ) ସମୀକରଣରୁ ପ୍ରୋଟନ, ହିଲିୟମ ଅଣୁ, ଏପରି କଲେ, ଯେକୌଣସି କଣିକା ପାଇଁ ଡି ବ୍ରଗ୍ଲି ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ହିସାବ କରି ହେବ । [ବା ୧୧'୮ରୁ ଯେତେବେଳେ $K << m_0c^2$] । କୌଣସି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଗତିବେଗ ପାଇଁ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଯେତେବେଳେ ବେଶୀ ହେବ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ସେତେ କମିଯିବ । ଡ଼ି ବ୍ରଗ୍ଲିଙ୍କର କଳ୍ପନା ବଡ଼ ଆକର୍ଷଣୀୟ ହୋଇଥିଲା । ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ତରଙ୍ଗ ଗୁଣ ପରୀକ୍ଷା କରିବାପାଇଁ ପରିକଳ୍ପିତ ପରୀକ୍ଷା ସମାପନ କରିବାପାଇଁ ବହୁ ଭୌତିକ ବୈଜ୍ଞାନିକ ବାହାରି ପଡ଼ିଲେ । ତାଙ୍କ ସମ୍ମୁଖରେ; ହାଇସେନବର୍ଗ ଏବଂ ଶ୍ରୁଡ଼ିଞ୍ଜର ଗାଣିତିକ ଏହି ତତ୍ତ୍ୱସବୁ ଆବିଷ୍କାର କରି ବର୍ଣ୍ଣ, ଡିରାକ୍ ଏବଂ ଅନ୍ୟମାନଙ୍କ ସାହାଯ୍ୟରେ ଆଧୁନିକ ଅତ୍ୟନ୍ତ ସଫଳ ହୋଇଥିବା କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ସମ୍ଭବ କଲେ ।

11·5 ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ତରଙ୍ଗ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ପରୀକ୍ଷା :

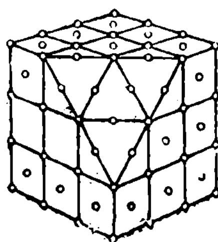
(କ) ଗୋଟିଏ ସ୍ଫଟିକରୁ ଡି ବ୍ରଗ୍ଲିଙ୍କର ପ୍ରଥମ ପ୍ରବନ୍ଧ ପ୍ରକାଶ ପାଇବା 3ବର୍ଷ ପରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବିବର୍ତ୍ତନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଡେଭିସନ ଓ ଜର୍ମର ରିପୋର୍ଟ ଦେଇଥିଲେ । ସେମାନେ

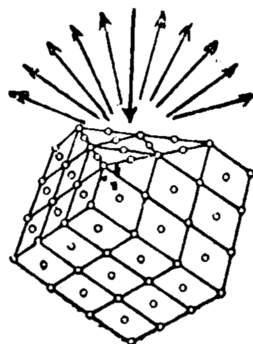
ଗୋଟିଏ ନିକେଲ ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁରୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ପ୍ରତିଫଳନ ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣ କରୁଥିଲେ। ଆକସ୍ମିକ ଭାବରେ ସେମାନେ ଏହି ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁକୁ ଗରମ କରି ଦେବାରୁ ଏହା ବଡ଼ ବଡ଼ ସ୍ଫଟିକର ସାହାଯ୍ୟରେ ପରିଣତ ହୋଇଗଲା। ତାପରେ ସେଥିରୁ ପ୍ରତିଫଳିତ ରଶ୍ମିରେ ଅସଙ୍ଗତି ଦେଖାଗଲା। ଏହି ଘଟଣା ପରେ ସେମାନେ ନିକେଲର ଗୋଟିଏ ସ୍ଫଟିକକୁ ଲକ୍ଷ୍ୟ ବସ୍ତୁ ନେଲେ ଏବଂ ଏହାର ଉପରିଭାଗକୁ ସ୍ୱଳ୍ପ ବିଭବ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ରଶ୍ମି ଦ୍ୱାରା ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ଆଘାତ କଲେ। ଗୋଟିଏ ସରୁ ଛିଦ୍ରଯୁକ୍ତ ଫ୍ୟାରାଡେ ସଂଗ୍ରାହକ ସାହାଯ୍ୟରେ ସ୍ଫଟିକଠାରୁ ବିଭିନ୍ନ କୋଣ କରି ପ୍ରତିଫଳିତ ହେଉଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣ କଲେ। ଏହି ପ୍ରତିଫଳିତ ରଶ୍ମିରେ ସେମାନେ ଶୀର୍ଷତମ ନ୍ୟୂନତମ ଅଂଶସବୁ ପାଇଲେ ଏବଂ ଏହା ସେମାନେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବିବର୍ତ୍ତନ ଦ୍ୱାରା ବୁଝାଇ ଦେଇ ପାରିଲେ।

ସ୍ଫଟିକ ଦ୍ୱାରା ଏହି ତରଙ୍ଗମାନଙ୍କର ବିବର୍ତ୍ତନ ଏକ୍ସରେର ବିବର୍ତ୍ତନର ଅନୁରୂପ। ଏକ୍ସରେ ସାହାଯ୍ୟରେ ସ୍ଫଟିକର ପର୍ଯ୍ୟାଲୋଚନାରୁ ଜଣାଯାଏ ଯେ ନିକେଲ ସ୍ଫଟିକ ମୁଖ-କେନ୍ଦ୍ରିକ ସମଘନ ପରି। ଏପରି ସ୍ଫଟିକ ଚିତ୍ରରେ (୧୧.୩) ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି।



(a)


(b)


(c)

[ଚିତ୍ର ୧୧.୩ (a) ମୁଖକେନ୍ଦ୍ରିକ ସମଘନ ଗଠନର ନିକେଲ ସ୍ଫଟିକ
(b) ପୂର୍ବଚିତ୍ର – ଏଠାରେ ଗୋଟିଏ ବ୍ୟାସକୁ ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ଛେଦ କରାଯାଇଅଛି।
(c) ଗୋଟିଏ ଆପତିତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ରଶ୍ମି ପୃଷ୍ଠଦେଶରୁ ବିଚ୍ଛୁରିତ ହୋଇଅଛି]

ଅର୍ଥାତ୍ ପ୍ରତି ଏକକ ସମଘନ ସେଲ୍‌ଗୁଡ଼ିକର ପ୍ରତି କଡ଼ମୁଣ୍ଡରେ ଗୋଟିଏ ଲେଖାଏଁ ଓ ପ୍ରତି ବାହ୍ୟ ତଳର ମଧ୍ୟସ୍ଥଳରେ ଗୋଟିଏ ଲେଖାଏଁ ଅଣୁ ଥାଇ, ସେଗୁଡ଼ିକର ସମାବେଶ ଦ୍ୱାରା ସ୍ଫଟିକଟି ଗଢ଼ା ବୋଲି ଅନୁମାନ କରାଯାଇପାରେ—ଏଥିରେ ପ୍ରତି ଏକକ ସେଲ୍ ମଧ୍ୟସ୍ଥଳରେ କୌଣସି ଅଣୁ ନଥାଏ । ଚିତ୍ରରେ ଅଣୁଗୁଡ଼ିକ ବୃତ୍ତଦ୍ୱାରା ଚିହ୍ନିତ ହୋଇଛି, ଏଥିରୁ କେତେଗୁଡ଼ିଏ ସରଳରେଖାଦ୍ୱାରା ଯୋଗ କରାଯାଇ ଏକକ ସେଲ୍ ସୂଚିତ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଏକକ ସମଘନର ପାର୍ଶ୍ୱର ଦୈର୍ଘ୍ୟ $a=3{\cdot}51A^\circ$ । ଚିତ୍ରରେ (୧୧·୬ଖ) ସମଘନର ଗୋଟିଏ ବ୍ୟାସ ପ୍ରତି ଅଭିଲମ୍ବ ଛେଦ କରି ଗୋଟିଏ ମୁଖ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି ।

ଚିତ୍ର ୧୧·୬ଗର ତ୍ରିଭୁଜାକାର ମୁଖର ଉପର ସ୍ତରର ଅଣୁମାନଙ୍କୁ ସନ୍ଧାନରେ ଦେଖାଯିବ ଯେ ଏହି ଅଣୁଗୁଡ଼ିକ ତ୍ରିଭୁଜର ଗୋଟିଏ ପାର୍ଶ୍ୱକୁ ସମାନ୍ତର ଭାବରେ ସଜ୍ଜିତ ରହିଛନ୍ତି । ଏହି ସ୍ତମ୍ଭମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଦୂରତା $2{\cdot}15A^\circ$ । ଏହି ଅଣୁ ସ୍ତମ୍ଭମାନଙ୍କୁ ଅନେ ଗ୍ରେଟିଂ ବ୍ୟବଧାନ D ଥିବା ଗୋଟିଏ ସମତଳ ଗ୍ରେଟିଂ ବୋଲି ଧରି ନେଇ ପାରିବା । λ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ କୌଣସି ବିକିରଣ ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ଏହି ଗ୍ରେଟିଂରେ ପତିତ ହେଲେ ଓ ଯଦି ଆପତନ ସମତଳ ତ୍ରିଭୁଜର ଗୋଟିଏ ପାର୍ଶ୍ୱ ପ୍ରତି ଲମ୍ବ ହୋଇଥାଏ, ତେବେ ବିବର୍ତ୍ତନ ଘଟିବ, ଠିକ୍ ଯେପରି ଗୋଟିଏ ସମତଳ ଗ୍ରେଟିଂ ଦେହରୁ ଆଲୋକର ବିବର୍ତ୍ତନ ଘଟିଥାଏ । ଅତି ଜଣାଶୁଣା ଗ୍ରେଟିଂ ନିୟମ ଅନୁସାରେ

$$n\lambda = D\sin\phi \qquad (୧୧·୯)$$

ଏଠାରେ ϕ ହେଲା ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ପତିତ ରଶ୍ମି ଓ ବିବର୍ତ୍ତିତ ରଶ୍ମି ମଧ୍ୟସ୍ଥ କୋଣ ଏବଂ n ବିବର୍ତ୍ତନର କ୍ରମ । ଏହିପରି ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ସମତଳ ଗ୍ରେଟିଂ ଗୋଟିକ ପରେ ଗୋଟିଏ ରଖି ଗୋଟିଏ ଗଦା ତିଆରି କଲେ ସ୍ଫଟିକଟି ହେବ । ବିକିରଣ ସ୍ଫଟିକ ମଧ୍ୟସ୍ଥ କୌଣସି ଏକ ସ୍ତରରୁ ବିବର୍ତ୍ତିତ ହେଲେ, ଏହା ଅନ୍ୟ ସ୍ତରମାନଙ୍କରୁ ବିବର୍ତ୍ତିତ ହେଉଥିବା ବିକିରଣ ସହିତ ମିଳିତ ହୋଇ ϕ କୋଣଠାରେ ବିବର୍ତ୍ତିତ ରଶ୍ମି ଭାବରେ ଦେଖାଦେବ, କେବଳ ଯେତେବେଳେ ଏହିପରି ମିଳିତ ହେବାଦ୍ୱାରା ଏମାନେ ପରସ୍ପରର ଗୁଣ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଭାବରେ ନଷ୍ଟ କରିଦେବେ ସେତେବେଳେ ଏପରି ରଶ୍ମି ଦେଖାଯିବ ନାହିଁ ।

ଡେଭିସନ ଓ ଜର୍ମର ବ୍ୟବହାର କରିଥିବା ଯନ୍ତ୍ରପାତିର ଗୋଟିଏ ଉତ୍ତପ୍ତ ଫିଲାମେଣ୍ଟରୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବାହାର କରିବାର କାର୍ଯ୍ୟ କରୁଥିଲା । ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକୁ ଆବଶ୍ୟକୀୟ ଗତିବେଗ ଦେବାପାଇଁ ସେମାନେ ଏକ ତ୍ୱରଣୀକ୍ଷେତ୍ର ବ୍ୟବହାର କରିଥିଲେ । ମୋଟାମୋଟି ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଦିଗକୁ ଗତି କରୁଥିବା ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ପାଇବାପାଇଁ ସେମାନେ କେତେଗୁଡ଼ିଏ ଏକ ରୈଖିକ ଛିଦ୍ର ବ୍ୟବହାର କରିଥିଲେ । ଏହି ଏକ ଗତିବେଗ ବିଶିଷ୍ଟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ରଶ୍ମି ସ୍ଫଟିକ ଉପରେ ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ଆଘାତ କରିଥିଲା ଏବଂ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ସବୁଦିଗରେ ପ୍ରତିଫଳିତ ବା ବିଛୁରିତ ହୋଇଥିଲା । ସ୍ଫଟିକର ଅବସ୍ଥାନ ସହିତ ଯେକୌଣସି କୋଣରେ ରଖାଯାଇ ପାରୁଥିବା ଗୋଟିଏ ସଂଗ୍ରାହକ ପ୍ରତିଫଳିତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକୁ ମାପ କରିବା ପାଇଁ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇଥିଲା । ସଂଗ୍ରାହକରେ ଦୁଇଟି କାନ୍ଥ ପରସ୍ପରଠାରୁ ରୋଧିତ ହୋଇ ରହିଥିଲେ । ଏହି ଦୁଇ କାନ୍ଥ ମଧ୍ୟରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକର ଗତିକୁ ମନ୍ଥର କରିବାର ବିଭବ ବ୍ୟବସ୍ଥା ଥିଲା, ଫଳରେ କେବଳ ଅତି ଦ୍ରୁତଗାମୀ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ, ଯେଉଁମାନଙ୍କର ଗତିବେଗ ଆପତିତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକର ଗତିବେଗ ସହିତ ପ୍ରାୟ ସମାନ, କେବଳ ସେଇ ଗୁଡ଼ିକ ଭିତର ଘରେ ପ୍ରବେଶ କରି ପାରୁଥିଲେ ଏବଂ ଗାଲ୍ଭାନୋମିଟରର ଦ୍ୱାରା ମାପ କରା ଯାଇପାରୁଥିଲେ । ସ୍ଫଟିକଟିକୁ ଯେଉଁ ଅକ୍ଷ ସ୍ୱରୂପରେ ଘୂରାଇ ହେଉଥିଲା ତାହା ଆପତିତ ରଶ୍ମି ପ୍ରତି ସମାନ୍ତର । ତେଣୁ ସ୍ଫଟିକକୁ ଘୂରାଇ ଆପତିତ ରଶ୍ମି ଓ ସଂଗ୍ରାହକ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରବେଶ କରୁଥିବା ରଶ୍ମି ଦ୍ୱାରା ସୃଷ୍ଟ ସମତଳ ପ୍ରତି ସ୍ଫଟିକଟି ଯେକୌଣସି ସ୍ଥିତିକ ଅବସ୍ଥାରେ ରଖାଯାଇପାରିବ ।

ଯଦି ସ୍ଫଟିକ ଉପରେ ସ୍ୱଳ୍ପ ବିଭବଯୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ରଶ୍ମି ପତିତ ହୁଏ, ସ୍ଫଟିକଟିକୁ ଯେକୌଣସି ସ୍ଥିତିକ ଅବସ୍ଥାରେ ରଖି ବିଛୁରିତ ରଶ୍ମି ସହି ଅକ୍ଷାଂଶ ଅନୁସାରେ କିପରି ବଦଳୁଛି ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣ କଲେ ୧୧.୪a ଚିତ୍ରରେ ଯେପରି ରେଖା ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଛି, ସେହିପରି ରେଖାସବୁ (ବଣ୍ଟନରେଖା) ମିଳିବ (ଆପତିତ ରଶ୍ମି ଓ ସଂଗ୍ରାହକ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରବେଶ କରୁଥିବା ରଶ୍ମି ଦ୍ୱୟର ଅନ୍ତର୍ଗତ କୋଣକୁ ସହି ଅକ୍ଷାଂଶ କୁହାଯାଏ । ୧୧.୪aରେ ଦେଖା ଯାଉଥିବା ରେଖା 6-V ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଆପତନ ପାଇଁ ଟଣାଯାଇଅଛି । ଯଦି ସ୍ଫଟିକଟି ସ୍ଥିତିକ Aକୁ ଘୂରାଯାଏ, 40 – V ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ପାଇଁ ବଣ୍ଟନ ରେଖା (ଚିତ୍ର ୧୧.b) ପ୍ରାୟ 60° ସହି ଅକ୍ଷାଂଶଠାରେ ସାମାନ୍ୟ କୁଜ ଦେଖାଇବ । ବିଭବ ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ସେହି କୁଜ ଉପରଆଡ଼କୁ ଘୁଞ୍ଚିଯିବ ଓ ଏକ ନାସୀରେ ପରିଣତ ହେବ । ଏହି ନାସୀ

54-Vଠାରେ (ଚିତ୍ର ୧୧·୪e) ସ୍ପଷ୍ଟତମ ହେବ ଓ ସେଠାରେ ସହ ଅକ୍ଷାଂଶ ହେବ 50° । ଅଧିକ ବିଭବ ହେଲେ ଏହି ନାସୀ ଆସ୍ତେ ଆସ୍ତେ ଲୁଚିଯିବ ।

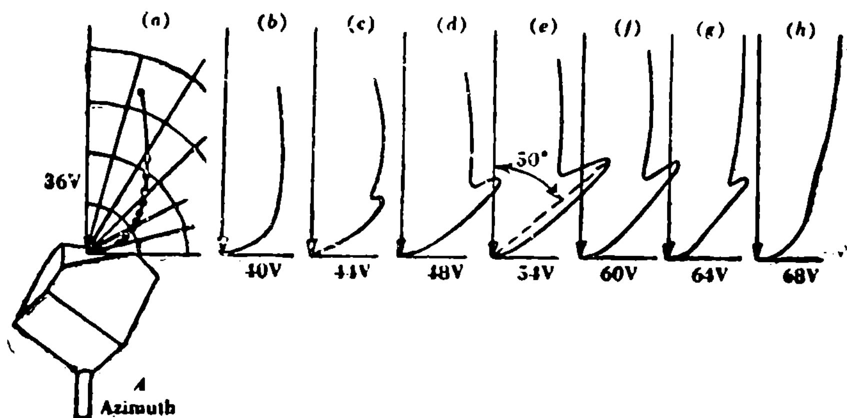
ଏହି ନାସୀ ଯେତେବେଳେ ସ୍ପଷ୍ଟତମ ହୋଇଥିବ, ସେତେବେଳେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ତରଙ୍ଗ ଧର୍ମ ଥିବାର ଦୃଢ଼ବୋଧ ଯୋଗ୍ୟ ପ୍ରମାଣ ମିଳିବ । (୧୧·୬) ସମୀକରଣରୁ 54-V ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ ଦ ବ୍ରଗ୍ଲି ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ହେଉଛି

$$\lambda_e = \frac{12{\cdot}27}{\sqrt{54}} = 1{\cdot}67\ A^\circ$$

(୧୧·୯) ସମୀକରଣରୁ ଆମେ

$$\lambda_e = D \sin \phi = 2{\cdot}15 \sin 50^\circ = 1{\cdot}65\ A^\circ$$

ବୋଲି ପାଇବା । λ, ଏହି ଦୁଇ ମୂଲ୍ୟ ଅତି ଭଲରୂପେ ମିଳି ଯାଉଛନ୍ତି ।



[ଚିତ୍ର ୧୧·୪ ଭିନ୍ନ ଅବସ୍ଥାରେ ବିବର୍ତ୍ତିତ ରଶ୍ମିର ବିକାଶ. ସ୍ପଷ୍ଟତମ ନାସୀ ଖ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ 50° ସହ ଅକ୍ଷାଂଶରେ ଦେଖାଯାଉଛି]

181-V ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ 55° ସହଅକ୍ଷାଂଶଠାରେ ମଧ୍ୟ ନାସୀ ମିଳୁଅଛି । ଏହାକୁ ଦ୍ୱିତୀୟ ସ୍ତରର ରଶ୍ମି ବୋଲି ବୁଝାଯାଉଅଛି । 181-V ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ $\lambda_e = 0{\cdot}91A^\circ$ କିନ୍ତୁ ଦ୍ୱିତୀୟ ସ୍ତର ବିବର୍ତ୍ତିତ ଦେଉଛି $0{\cdot}88A^\circ$ । ଏହିପରି ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ

ସ୍ଥିତିକ ଅବସ୍ଥାରେ ଏହିପରି 20ଟି ବିଭିନ୍ନ ରଶ୍ମି ରିପୋର୍ଟ କରି ଯାଇଅଛି । ଆଧୁନିକ ଉପପାଦ୍ୟ ବ୍ୟବହାର କରିବାଦ୍ୱାରା ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ଓ ଡି ବ୍ରଗ୍ଲି ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରଭେଦ 1%ରୁ କମିଯାଇଅଛି ।

(ଖ) ସ୍ଫଟିକ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରେରଣ :

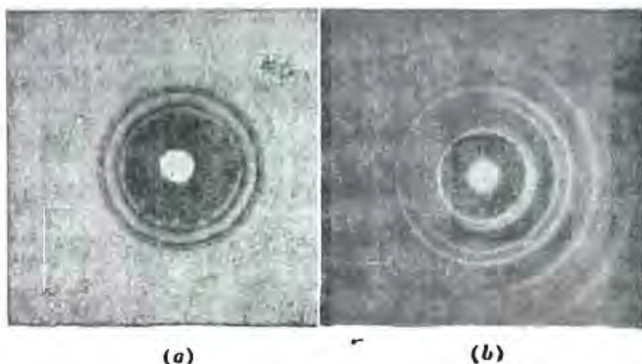
ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଯଥେଷ୍ଟ ଶକ୍ତି ପାଇଲେ ପାତଳ ବସ୍ତୁ ମାଧ୍ୟମ, ଯଥା—ପାତଳ ମାଇକା, ଧାତବ ପତ୍ର, ସହଜରେ ଭେଦ କରି ଯାଇପାରେ । ଯଦି ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ରଶ୍ମିର ତରଙ୍ଗ ଧର୍ମ ଥାଏ, ତେବେ ବସ୍ତୁ ମଧ୍ୟରେ ଗତି କଲାବେଳେ ଏହା ଏକ୍ସରେର କେତେକ ବା ସମସ୍ତ ଗୁଣ ଦେଖାଇବ ।

ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ତରଙ୍ଗର ଆବିଷ୍କାର ପରେ ପରେ କକୁଚି ଗୋଟିଏ ପାତଳ ମାଇକା ସ୍ଫଟିକ ମଧ୍ୟରେ 68-kVର ଗୋଟିଏ ଇଲେକଟ୍ରନ ରଶ୍ମି ଗୁଚ୍ଛ ପ୍ରେରଣ କରି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ବିବର୍ତ୍ତନ ବିନ୍ୟାସ ପାଇବାକୁ ସମର୍ଥ ହୋଇଥିଲେ । ଏହି ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣଗୁଡ଼ିକ ଏକ୍ସରେର ଫ୍ରେଡ଼ରିକ, ନିପିଙ୍ଗ ଓ ଲଉଙ୍କର ପ୍ରଥମ ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣର ଠିକ୍ ଅନୁରୂପ ହୋଇଥିଲା । ପ୍ରାୟ ସେହି ସମୟରେ ଜି. ପି. ଥମସନ୍ (ଜେ. ଜେ. ଥମସନ୍ଙ୍କର ପୁତ୍ର) ସେହି ସମକକ୍ଷ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ରଶ୍ମି ଗୁଚ୍ଛ ବହୁ ସ୍ଫଟିକାକାର ବସ୍ତୁମାନଙ୍କର ପାତ୍ର ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରେରଣ କରିଥିଲେ । ଏହି ପତ୍ରଗୁଡ଼ିକ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ଇତସ୍ତତ ଘୂରି ରହିଥିବା ସୂକ୍ଷ୍ମସ୍ଫଟିକମାନଙ୍କର ସମାବେଶରେ ଗଢ଼ା ।

ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ବିବର୍ତ୍ତନ ବିନ୍ୟାସ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ଏକକେନ୍ଦ୍ରିକ ବୃତ୍ତିଦ୍ୱାରା ଗଢ଼ା, ଏଠାରେ ଦାଗ ଦେଖାଯାଏ ନାହିଁ (ଚିତ୍ର ୧୧.୫) । ଏକ୍ସରେର ଓ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ ମିଳୁଥିବା ବିନ୍ୟାସ ମଧ୍ୟରେ ମେଳ ଚମତ୍କାର ।

ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବର୍ତ୍ତମାନ ଏପରି ସୂକ୍ଷ୍ମ ଭାବରେ ମାପ କରାଯାଇ ପାରିଲାଣି ଯେ ଏହାକୁ ମୌଳିକ ଧ୍ରୁବାଙ୍କଗୁଡ଼ିକରେ ମୂଲ୍ୟ ନିରୂପଣରେ ଅତି ମୂଲ୍ୟବାନ୍ ଉପାୟ ବୋଲି ମନେ କରାଯାଉଅଛି । ଯଦି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ଗତିବେଗ vକୁ କୌଣସି ଯାନ୍ତ୍ରିକ ପ୍ରଣାଳୀରେ ମପାଯାଇପାରେ, λ ବା $\frac{h}{mv}$ ର ନିରୀକ୍ଷଣ ଦ୍ୱାରା $\frac{h}{m}$ ର

ମୂଲ୍ୟ ମିଳି ପାରିବ; ଅଥବା ଯଦି ଗତିବେଗ କୌଣସି ତ୍ୱରଣକାରୀ ବିଭବ Vରୁ ହିସାବ କରାଯାଏ, କାରଣ $\frac{mv^2}{2} = eV$, λର ନିରୀକ୍ଷଣ ଦ୍ୱାରା $\frac{h}{\sqrt{em}}$ ର ମୂଲ୍ୟ ମିଳି ପାରିବ ।



(a) (b)

[ଚିତ୍ର: ୧୧.୫ (a) ଏକ୍‌ସରେକୁ ଆଲମିନିୟମର ଏକ ପତ୍ର ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରେରଣ କରିବାଦ୍ୱାରା ମିଳୁଥିବା ବିବର୍ତ୍ତନ ବିନ୍ୟାସ (b) 500A° ବେଧ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ରୁପା ପାତ ମଧ୍ୟରେ 48-keV ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ପ୍ରେରଣ କରିବାଦ୍ୱାରା ମିଳୁଥିବା ବିବର୍ତ୍ତନ ବିନ୍ୟାସ]

11·6 ନିଉଟ୍ରନ ଓ ଅଣୁମାନଙ୍କର ବିବର୍ତ୍ତନ :

ଏପରି କି ଅଣୁମାନେ ମଧ୍ୟ ତରଙ୍ଗ ଧର୍ମ ଦର୍ଶାନ୍ତି । ଗୋଟିଏ ଆବଦ୍ଧ ପ୍ରକୋଷ୍ଠରୁ ଗୋଟିଏ କ୍ଷୁଦ୍ର ଛିଦ୍ର ବା ଫାଟବାଟେ ଗୋଟିଏ ଶୂନ୍ୟ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ ମଧ୍ୟକୁ କୌଣସି ଗ୍ୟାସର ଧାର ପ୍ରେରଣ କରିବାଦ୍ୱାରା ଗୋଟିଏ ଅଣୁ ରଶ୍ମି ଗୁଚ୍ଛ ସୃଷ୍ଟି କରାଯାଇପାରେ । ହେଲେ, ଏଠାରେ ଦୁଇଟି ପ୍ରତିବନ୍ଧକ ଅତିକ୍ରମ କରିବାକୁ ହୋଇଥାଏ, ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ପାଇଁ ସେପରି ପ୍ରତିବନ୍ଧକ ନଥିଲା । ଅଣୁଗୁଡ଼ିକ ମାକ୍ସୱେଲୀୟ ଗତିବେଗ ବଣ୍ଟନ ଅନୁସାରେ ବିସ୍ତୃତ ହୁଅନ୍ତି; ମାତ୍ର ବିବର୍ତ୍ତନ ପରୀକ୍ଷା ପାଇଁ ଏକବର୍ଣ୍ଣି ତରଙ୍ଗର ଅନୁରୂପୀ ସମଗତିବେଗ ବିଶିଷ୍ଟ ଅଣୁ ରଶ୍ମି ଗୁଚ୍ଛର ଆବଶ୍ୟକତା ଅଛି । ଏହାଛଡ଼ା, ସ୍ୱର୍କ କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ଉଦ୍‌ଘାଟନ କରିବା ଯେପରି ସହଜ, ସମସ୍ୱର୍କ ଅଣୁଗୁଡ଼ିକୁ ଧରିବା ସେପରି ସହଜ ନୁହେଁ ।

ଇଷ୍ଟରମାନ, ଫ୍ରିଶ୍ ଓ ଷ୍ଟର୍ଣ୍ଣ 1931 ମସିହାରେ ଯେଉଁ ପରୀକ୍ଷାଟି ସମ୍ପନ୍ନ କରିଥିଲେ, ତାହା ଏକାନ୍ତ ଆକର୍ଷଣୀୟ । ସେମାନେ ଦୁଇଟି ସମାନ୍ତରାଳ ମଣ୍ଡଳ ଗୋଟିଏ କଠିନ ବସ୍ତୁ ଦ୍ୱାରା ପରସ୍ପର ସହିତ ଯୋଡ଼ି ଦଶ ସେଣ୍ଟିମିଟର ବ୍ୟବଧାନରେ ରଖି ସେମାନଙ୍କର ଅକ୍ଷ ଚାରିପଟେ ଘୂରାଇଲେ । ଏ ଦୁଇଟିରେ ଥିବା ଦୁଇଟି ସରୁ ଫାଟବାଟ ଦେଇ ବାହାରୁଥିବା ହିଲିୟମ୍‌ର ଅଣୁ ବା ପରମାଣୁ ଧାର ଏକପ୍ରକାର ସମଗତିଯୁକ୍ତ ହେବେ । ମଣ୍ଡଳ ଦୁଇଟିର ଫାଟ ଦୁଇଟି ପରସ୍ପରର ବିପରୀତ ଦିଗକୁ ରହିବାର ବ୍ୟବସ୍ଥା କରାଯାଇଥିଲା । ପ୍ରଥମ ମଣ୍ଡଳର ଫାଟ ମଧ୍ୟଦେଇ ଗୋଟିଏ ଅଣୁ ଯିବାପରେ, ଯଦି ଠିକ୍ ଗତିବେଗ ଯୁକ୍ତ ହୋଇଥାଏ, ତେବେ ଅନ୍ୟ ମଣ୍ଡଳର ଫାଟ ପାଖରେ ଯଥା ସମୟରେ ପହଞ୍ଚି ପାରିବ, ନତୁବା ଶୀଘ୍ର ବା ଡେରି ହୋଇଯିବ । ଯେଉଁ ଅଣୁମାନଙ୍କ ଏହି ଗତିବେଗଠାରୁ ଅଧିକ ବା ଅଳ୍ପ ବେଗରେ ଯାଉଥିବେ, ସେମାନେ ଦୁଇଏକ ଆଗରୁ ବା ପରେ ଅନ୍ୟ ମଣ୍ଡଳ ପାଖରେ ପହଞ୍ଚିବେ, ତେଣୁ ତାଦ୍ୱାରା ବାଧା ପାଇ ରହିଯିବେ । ଦ୍ୱିତୀୟ ମଣ୍ଡଳ ଡେଇଁ ଯିବା ପରେ ଅଣୁଗୁଡ଼ିକ ଗୋଟିଏ ଲିଥିୟମ ଫ୍ଲୋରାଇଡ୍ ସ୍ଫଟିକର ଉପରେ ପଡ଼ିବେ ଓ ଏହାଦ୍ୱାରା ଏଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରତିଫଳିତ ବା ବିବର୍ତ୍ତିତ ହେବେ । କୌଣସି ଏକ ଦିଗରେ ବିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇଥିବା ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛର ତୀବ୍ରତା ମାପ କରିବା ପାଇଁ ହିଲିୟମ ଅଣୁଗୁଡ଼ିକୁ ଗୋଟିଏ କ୍ଷୁଦ୍ର ଛିଦ୍ର ବାଟେ ଗୋଟିଏ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରବେଶ କରାଯାଏ । ଏକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରିମାଣର ଚାପ (ପ୍ରାୟ 10^{-6} ସେ. ମି. ପାରଦ ସ୍ତମ୍ଭର ମାତ୍ରା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ) ସୃଷ୍ଟି ହେବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଏହି ପ୍ରଣାଳୀ ଚାଲିଥାଏ । ଗୋଟିଏ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ଦ୍ୱାରା ଉତ୍ତପ୍ତ ଧାତବ ପାତର ଶୀତଳ ହେବାଦ୍ୱାରା ଏହି ଚାପ ମାପ କରାଯାଏ, ହିଲିୟମ ମଧ୍ୟ ଦେଇ ତାପ ପରିବହନ ଫଳରେ ଏହି ଶୀତଳତା ସମ୍ଭବ ହୋଇଥାଏ । ଧାତଟିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ବାଧା ହୁଇଟ୍‌ଷ୍ଟୋନ ବନ୍ଧ ଦ୍ୱାରା ମାପ କରି ତା'ର ଉତ୍ତାପ ସ୍ଥିର କରାଯାଏ ।

ହିଲିୟମର ନିୟମିତ ପ୍ରତିଫଳନ ରଶ୍ମି ସହିତ ଗୋଟିଏ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ବିବର୍ତ୍ତିତ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ଥିବାର ଜଣାଗଲା । ସୂକ୍ଷ୍ମତମ ପରିମାପରେ ବିବର୍ତ୍ତିତ ରଶ୍ମିରେ ଅଧିକତମ ତୀବ୍ରତା ଦେଖାଗଲା 19°45'ଠାରେ, ଏଥିରୁ ସ୍ଫଟିକର ସାଧାରଣ ବିବର୍ତ୍ତନ ସୂତ୍ର ଅନୁସାରେ ହିସାବ କଲେ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ $\lambda = 0{\cdot}600\,A^{\circ}$ ହେଲା । ଆକାର ଓ ମଣ୍ଡଳର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ହାରରୁ ହିଲିୟମର ଗତିବେଗ $1{\cdot}635 \times 10^{3}$ ମି./ସେ. ବୋଲି ହିସାବ କରାଗଲା, ଏହା (୧୧·୭) ସମୀକରଣରୁ ଡି. ବ୍ରଗ୍ଲି ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ $0{\cdot}609\,A^{\circ}$ ବୋଲି ଦେଲା ।

ନିଉକ୍ଲିୟର ରିଆକ୍ଟରମାନଙ୍କରେ ନିଉଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ବହୁ ଘାତ ପ୍ରତିଘାତ ପରେ ରିଆକ୍ଟରର ଉତ୍ତାପ ଅନୁଯାୟୀ ମାକ୍ସୁଏଲୀୟ ଗତିବେଗ ବଣ୍ଟନ ନିୟମ ଅନୁସାରେ ବାଣ୍ଟି ହୋଇଯାନ୍ତି । ଯର ଉତ୍ତାପରେ ଗୋଟିଏ ନିଉଟ୍ରନର ଶକ୍ତି ପ୍ରାୟ $0{\cdot}025eV$ ଓ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ପ୍ରାୟ $1{\cdot}8A^{\circ}$ ହୋଇଥାଏ । ଏହିପରି ନିଉଟ୍ରନ ସବୁରେ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ସ୍ଫଟିକମାନଙ୍କର ଆକର୍ଷଣୀୟ କୋଣରେ ବ୍ରାଗ୍ ପ୍ରତିଫଳନ ଘଟେ । ନିଉଟ୍ରନର ଡି ବ୍ରଗ୍ଲି ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ନିଉଟ୍ରନ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରୋମିଟରମାନଙ୍କର ବ୍ୟବହାର ସମ୍ଭବ କରିଅଛି ଓ ପଦାର୍ଥବିତ୍‌ମାନଙ୍କୁ ମୋଟାମୋଟି ସମଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ନିଉଟ୍ରନ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ପାଇବାକୁ ସମର୍ଥ କରିଛି ।

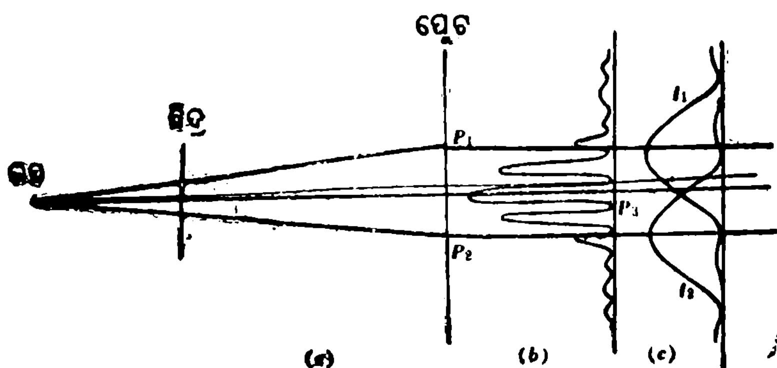
11.7 ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଏବଂ ତରଙ୍ଗ ଫଳନ :

୧୧·୫ ଅନୁଚ୍ଛେଦରେ ଆମେ ଦେଖିଥାଉଁ ଯେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଓ ଫୋଟନର ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ବିଭିନ୍ନ ବସ୍ତୁର ଫଳକ ମଧ୍ୟରେ ଗତି କଲେ ଏକା ପ୍ରକାରରେ ଗୁଣ ଦେଖାଇଥାଆନ୍ତି । ଏକା ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ତରଙ୍ଗ ଓ ଫୋଟନର ସାଧାରଣ ଗୁଣ ଅଧିକ ଅଧିକ ସ୍ପଷ୍ଟରେ ଦେଖାଇବାପାଇଁ, ନିମ୍ନଲିଖିତ ପରୀକ୍ଷାଟି ବିଚାର କରିବା । ଦୁଇଟି ସମାନ୍ତର ଫାଟ (ଚିତ୍ର ୧୧·୬) ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଏକାନ୍ତର କ୍ରମେ ଫୋଟନ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ଓ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ କୌଣସି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଉତ୍ସ ବା ଫୋଟନ ଉତ୍ସରୁ ପ୍ରେରଣ କରିଗଲା । ଯଦି ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ଓ ସନ୍ନିପାତର ଆକାର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଓ ଫୋଟନର ତରଙ୍ଗଗୁଣ ପ୍ରକାଶ କରିବାପାଇଁ ଉପଯୁକ୍ତ ଭାବରେ ବଛା ଯାଇଥାନ୍ତି, ତେବେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଓ ଫୋଟନ ଉଭୟ ପାଇଁ ୧୧·୬b ଚିତ୍ରରେ ଦିଆଯିବା ବିନ୍ୟାସ ପରି ବିନ୍ୟାସ ଫଟୋଗ୍ରାଫି ପ୍ଲେଟରେ (ବା ଅନ୍ୟ କୌଣସି ଉଦ୍‌ଘାଟକରେ ଦେଖାଯିବ । ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ପୁରୁଣା କଣିକା ଚିତ୍ର ଅନୁସାରେ ଆଶା କରାଯାଉଥିବା ବିନ୍ୟାସ ହେଲା P_1 ଓ P_2ଠାରେ ସରଳ ଦାଗ ସବୁ, କାରଣ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗୁଡ଼ିକ ଫାଟ ଦୁଇଟି ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଯାଇ ସିଧା ଭାବରେ ଉଦ୍‌ଘାଟକ ପ୍ଲେଟକୁ ଆଘାତ କରନ୍ତି । ପରନ୍ତୁ, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଓ ଫୋଟନଗୁଡ଼ିକ ଏକାପ୍ରକାରର ତରଙ୍ଗଗୁଣ ପ୍ରକାଶ କରିବା ଆମେ ଦେଖି ପାରିବା ।

ଯଦି ଆମେ କ୍ଷୁଦ୍ର ସ୍ଫୁଲିଙ୍ଗଟିଏ ଚିତ୍ର ୧୧·୬aରେ ଥିବା ପ୍ଲେଟ ଉପରେ ଚଳାଇବା ଏବଂ ଏଥିରେ ପ୍ରତି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବା ପ୍ରତି ଫୋଟନ ବାଜିଲେ ଯଦି ସ୍ଫୁଲିଙ୍ଗସୃଷ୍ଟି ହେଉଥିବ

ତେବେ ଆମେ ଏକାପ୍ରକାରର ତୀବ୍ରତା ବଣ୍ଟନ ପାଇ ପାରିବା । ପ୍ରତି ଷ୍ଟ୍ରିଙ୍ଗରୁ ସ୍ପଷ୍ଟ ଜଣା ଯାଉଛି ଯେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବା ଫୋଟନର କଣିକାଗୁଣ ରହିଅଛି କାରଣ ପୁରାତନ ତରଂଗ ତୀବ୍ରତା ଅନୁପାତରେ ଅପରିବର୍ତ୍ତୀ ତେଜ ଦେଖାଇଥାନ୍ତା, ଗୋଟି ଗୋଟି କରି ଷ୍ଟ୍ରିଂଗ ଦେଖାଇ ନଥାନ୍ତା ।

ଯଦି ଦୁଇଟିରୁ ଗୋଟିଏ ଫାଟ ବନ୍ଦ କରିଦେବା, ତେବେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଓ ଫୋଟନର ଗୁଣରେ ଆହୁରି ସମତା ଦେଖାଇ ପାରିବା । ଯଦି କେବଳ ୧ନମ୍ବର ଫାଟଟି ଖୋଲା ରହେ, ତେବେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବା ଫୋଟନ ଯେଉଁଟି ନେଲେ ମଧ୍ୟ ତୀବ୍ରତା ବିନ୍ୟାସ ଚିତ୍ର ୧୧.୬ରେ ଦିଆଥିବା ବିନ୍ୟାସ ପରି ହେବ । ସେହିପରି ଯଦି ୧ନମ୍ବର ଫାଟଟି ବନ୍ଦ ଥାଏ ଏବଂ ୨ନମ୍ବର ଫାଟଟି ଖୋଲା ରହେ, ଲବ୍ଧ ବିନ୍ୟାସ ପ୍ରତି T_2ର ଅନୁରୂପ ହେବ । ଯଦି ଦୁଇଟିଯାକ ଫାଟ ଖୋଲା ରହେ, ତେବେ ଦୁଇ ବ୍ୟକ୍ତିଗତ ବିନ୍ୟାସର



[ଚିତ୍ର ୧୧.୭ (a) ଯଦି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ପୁରାତନ କଣିକା ପରି ଗୁଣ ଦେଖାଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଉତ୍ସରୁ ଦୁଇଟି ଫାଟ ମଧ୍ୟଦେଇ ଗତି କରିବାପରେ ଆକାଙ୍କ୍ଷିତ ବିନ୍ୟାସ ହେଲା P_1 ଓ P_2 b ଦାଗସବୁ । (b) ପ୍ଲେଟରେ ମିଳୁଥିବା ପ୍ରକୃତ ବିନ୍ୟାସ ପୁରାତନ ତରଙ୍ଗରୁ ଆକାଙ୍କ୍ଷିତ (୧) ପ୍ରତି ଫାଟବାଟେ ଆସୁଥିବା ତରଙ୍ଗରୁ ଆକାଙ୍କ୍ଷିତ ବିନ୍ୟାସ ଯଦି ଅନ୍ୟ ଫାଟଟି ବନ୍ଦ ଥାଏ

ଯୋଗଫଳ ମିଳିବ ନାହିଁ । ଏହି ସ୍ଥାନରେ ପୁରାତନ ଭୌତିକୀ ଅନୁସାରେ ଚିନ୍ତା କରିବାକୁ ଅଭ୍ୟସ୍ତ ଥିବା ବ୍ୟକ୍ତିଙ୍କ ପାଇଁ ପ୍ରହେଳିକା ସୃଷ୍ଟି ହେବ । ସାଧାରଣ ଭାବରେ ସେ ଚିନ୍ତା

କାରଣ ଯେ ଦୁଇଟିଯାକ ଫାଟ ଖୋଲାଥିଲାବେଳେ ଯଦି ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଉଦ୍‌ଘାଟକ ପାଖେ ପହଞ୍ଚୁଛି, ତେବେ ତାହା ହୁଏତ 1ନମ୍ବର ଫାଟବାଟେ ଆସିଛି, ନତୁବା 2ନମ୍ବର ବାଟେ ଆସିଛି । ଯଦି ବି ଜଣେ ଷ୍ଟୁଲଗଙ୍କ ଉଦ୍‌ଘାଟକ ମାଧ୍ୟମରେ ପ୍ରତ୍ୟେକ କଣିକାର ପହଞ୍ଚିବା ଜାଣନ୍ତି, ସେ ଚିତ୍ର ୧୧·୭bରେ ଥିବା ରେଖା ପାଇ ପାରିବେ, ଚିତ୍ର ୧୧·୭cରେ ଥିବା ରେଖା ଦୁଇଟିର ଯୋଗଫଳ ପାଇବେନାହିଁ । ଯଦି ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ବା ଫୋଟନ କେବଳ ଗୋଟିଏ ଫାଟବାଟେ ଯାଇଥାନ୍ତେ, ୨ୟ ଫାଟଟି ଖୋଲିବା ଦ୍ୱାରା ବା ବନ୍ଦ କରିବାଦ୍ୱାରା ଗତି ପଥରେ କିପରି ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୁଅନ୍ତା ? ପ୍ରଥ ଫାଟକୁ ଅଲଗା କରି ଖୋଲିଲେ କୌଣସି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ବିନ୍ଦୁରେ ଯୁକ୍ତ ତୀବ୍ରତା ଥିବାବେଳେ, ୨ୟ ଫାଟଟି ଖୋଲିବାଦ୍ୱାରା ସେହି ବିନ୍ଦୁରେ କଣିକାଟି ପହଞ୍ଚିବାର ସମ୍ଭାବନା କିପରି ଶୂନ୍ୟକୁ କମିଯାଆନ୍ତା ?

ଆମେ ଯେତେବେଳେ ସେହି ପୁରାତନ ମତ ଯେ, ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକୁ କଣିକା ଗ୍ରହଣ କରିବା ସେତେବେଳେ ଏହି ପ୍ରହେଳିକା ସୃଷ୍ଟି ହେବ । ସେମାନଙ୍କର କିପରି ନାମକରଣ କରାଯାଇଅଛି, ତାହାର କୌଣସି ପ୍ରାଧାନ୍ୟ ନାହିଁ; ସେମାନେ ପରୀକ୍ଷାରେ କିପ୍ରକାର ଗୁଣ ପ୍ରକାଶ କରୁଛନ୍ତି ତାହାହିଁ ପ୍ରଧାନ । ଆମେ ଯେଉଁ ବସ୍ତୁର ଅବସ୍ଥିତି ସ୍ଥିର କରି ପାରିବା, ତା'ର ନାମ 'କଣିକା' ଦେବା ସହଜ; କିନ୍ତୁ ବିବର୍ତ୍ତନ ପରୀକ୍ଷାଗୁଡ଼ିକରେ ସେମାନଙ୍କର ଗୁଣ ପ୍ରକାଶ କରିବାପାଇଁ ଆମେ ଆଉ ଗୋଟିଏ ନାମ ବ୍ୟବହାର କରିବା । ଆମେ ଏଠାରେ ଯେଉଁ ଅବସ୍ଥାର ସମ୍ମୁଖୀନ ହେଉଥାଉଁ, ସେଥିରେ ଯାହାର ଅବସ୍ଥିତି କେତେକ ପରୀକ୍ଷାରେ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ; ଅନ୍ୟ କେତେକ ପରୀକ୍ଷାରେ ତାହା ତରଙ୍ଗ ଗୁଣ ପ୍ରକାଶ କରୁଛି । ପ୍ରକୃତରେ ଦୁଇଗୁଣ ମଧ୍ୟରେ ଧାରାବାହିକ କ୍ରମ ରହିଛି ଏବଂ ଏଠାରେ କୌଣସି ଗୁଣ ଅତି ସ୍ପଷ୍ଟ ନୁହେଁ । ଏ ସମସ୍ତ ବହୁବିଧ ବିଷୟର ଉପମା ପୁରାତନ ଆଲୋକ ବିଜ୍ଞାନରେ ରହିଅଛି; ସେଠାରେ ସୁଦୀର୍ଘ ତରଙ୍ଗର ପ୍ରବାହ କଥା ବୁଝାଯାଏ ଓ ସେଠାରେ ସୁସ୍ପଷ୍ଟ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟର ଧାରଣା ଆସେ, ବା କ୍ଷୁଦ୍ର ଆଲୋକ ସ୍ଫୁରଣ କଥା ବୁଝାଯାଏ ଓ ସେଠାରେ ଅବସ୍ଥାନ ନିରୂପଣ କରିହୁଏ ମାତ୍ର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ସ୍ପଷ୍ଟ ଜାଣି ହୁଏନାହିଁ । ଏହି ଉପମା ଯେ ବସ୍ତୁ ପାଇଁ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହେବ, ତାହା ପରୀକ୍ଷାର ଫଳ । ପ୍ରକୃତରେ ଯାହା ଘଟୁଛି ତାହା ବୁଝାଇବାଦ୍ୱାରା ଭୌତିକ ବିଜ୍ଞାନରେ ଅଭ୍ୟୁଦୟ ସମ୍ଭବ ହୋଇଥାଏ; ଯାହା ଘଟିବା ଉଚିତ ଓ ପ୍ରକୃତରେ ଘଟୁନାହିଁ ସେକଥାର ବର୍ଣ୍ଣନାରେ କୌଣସି ଉନ୍ନତି ସମ୍ଭବ ନୁହେଁ ।

ଚିତ୍ର ୧୧'୬୮ର ବ୍ୟତିକରଣ ବିନ୍ୟାସ ପୁରାତନ ତରଙ୍ଗବାଦ ଅନୁସାରେ ସନ୍ତୋଷଜନକ ଭାବରେ ବୁଝାଇ ଦେଇ ହେବ । ଯେହେତୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସେହିପରି ଏକ ବିନ୍ୟାସ ଦିଏ, ଆମେ ପରୀକ୍ଷାମୂଳକ ଭାବରେ ଗ୍ରହଣ କରିନେବା ଯେ ଯେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ "ବ୍ୟତିକରଣ" ବିନ୍ୟାସକୁ ମଧ୍ୟ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ତରଙ୍ଗର ଉପମା ଅନୁସାରେ ବୁଝାଯାଇ ପାରିବ । ଏହି ପ୍ରକାର ତରଙ୍ଗ ପାଇଁ କୌଣସି ଅବସ୍ଥାରେ ତୀବ୍ରତା ସେହି ଅବସ୍ଥାରେ ବିଦ୍ୟୁତକ୍ଷେତ୍ରର ବଳର ବର୍ଗ ସହିତ ଅନୁପାତୀ । ଯେତେବେଳେ ଦୁଇଟି ତରଙ୍ଗ ବାଧା ପାଆନ୍ତି, ଲବ୍ଧ ତୀବ୍ରତା ଦୁହିଁଙ୍କର ତୀବ୍ରତାର ଯୋଗଫଳ ହୁଏନାହିଁ, ବରଂ ଲବ୍ଧ ବିସ୍ଥାପନ ଦୁଇ ବିସ୍ଥାପନର ଯୋଗଫଳ । ଦୁଇଟି ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ତରଙ୍ଗର ବିଦ୍ୟୁତ



ଭେକ୍ଟର $\vec{E}$ ହେଉ,

$$E_1 = A_1 \cos 2\pi\left(\frac{x}{\lambda} - \nu t\right)$$

$$E_2 = A_2 \cos\left[2\pi\left(\frac{x}{\lambda} - \nu t\right) - \phi\right] \qquad (୧୧'୧୦)$$

ସେମାନଙ୍କର ବ୍ୟତିକରଣ ଦ୍ୱାରା ଲବ୍ଧ ବିସ୍ଥାପନ

$$E = E_1 + E_2 = A_1 \cos 2\pi\left(\frac{x}{\lambda} - \nu t\right)$$

$$+ A_2 \cos 2\pi\left(\frac{x}{\lambda} - \nu t\right)\cos\phi$$

$$+ A_2 \sin 2\pi\left(\frac{x}{\lambda} - \nu t\right)\sin\phi$$

$$= \sqrt{A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2\cos\phi}\;\cos\left[2\pi\left(\frac{x}{\lambda} - \nu t\right) + \delta\right]$$

(୧୧'୧୧)

ଏଠାରେ $\delta = A_2 \sin\phi/(A_1 + A_2\cos\phi)$ । ତେଣୁ ଏକ ପୂର୍ଣ୍ଣ ଆବର୍ତ୍ତନରେ ତୀବ୍ରତାର ସମୟ ଅନୁସାରେ ଗଡ଼ ହେଲା $A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos\phi$ । କେବଳ ୧ମ ତରଙ୍ଗର ଅନୁରୂପ ତୀବ୍ରତା ହେଲା A_1^2ର ଅନୁପାତୀ ଏବଂ

୨ୟ ତରଙ୍ଗର ହେଲା A_2^2 । ଆମେ ଦେଖୁଥାଇ ଯେ ଲବ୍ଧ ତୀବ୍ରତା ବ୍ୟକ୍ତିଗତ ତୀବ୍ରତା-ଠାରୁ $2A_1A_2 \cos \phi$ ପ୍ରଭେଦ, ଏହାକୁ ବ୍ୟତିକରଣ ଘଣି କୁହାଯାଏ ।

ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ତରଙ୍ଗମାନଙ୍କରେ ତରଙ୍ଗର ବର୍ଣ୍ଣନାରେ ତୀବ୍ରତା ବିଦ୍ୟୁତ ତୀବ୍ରତା $\vec{E}$ର ବର୍ଗର ଅନୁପାତୀ ହୁଏ, ମାତ୍ର କଣିକାର ବର୍ଣ୍ଣନାବେଳେ ଏକକ ସମୟରେ ଏକକ କ୍ଷେତ୍ରଫଳ ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଗତି କରୁଥିବା ଫୋଟନ ସଂଖ୍ୟା Nର ଅନୁପାତୀ ହୁଏ । ଶୂନ୍ୟ ସ୍ଥାନରେ ଏକ ସ୍ପନ୍ଦନ ν ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛର ତୀବ୍ରତା I ହେଲା

$$I = c\epsilon_0 \overleftarrow{E}^2 = Nh\nu \qquad (୧୧.୧୨)$$

ଏଠାରେ c = ଆଲୋକର ଗତିବେଗ

ϵ_0 = ଶୂନ୍ୟ ସ୍ଥାନର

h = ପ୍ଲାଙ୍କଙ୍କ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ

ଯେହେତୁ ଅନ୍ୟ ପ୍ରତ୍ୟେକ ରାଶି ଧ୍ରୁବ, ଏହା ସ୍ପଷ୍ଟ ଯେ ଫୋଟନ flux N, E^2କୁ ଅନୁପାତୀ । ଯେତେବେଳେ N ଖୁବ୍ ବେଶୀ, ସେତେବେଳେ ଆମେ Eକୁ ମାପ କରି ପାରିବା ଏବଂ E^2କୁ Nର ଏକ ଠିକ୍ ପରିମାପ ବୋଲି ଗ୍ରହଣ କରିପାରିବା । ଏହି ଅଧିକ flux ଅବସ୍ଥାରେ ସ୍ପ୍ରିଙ୍ଗର ଛଦ୍‌ଘାଟକ ଏକ ଅବିରତ ଓ ପ୍ରଧାନତଃ ଏକ ଅପରିବର୍ତ୍ତିତ ପ୍ରତିକ୍ରିୟା ଦେଖାଇବ, ଫୋଟନଗୁଡ଼ିକର ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ପ୍ରକୃତି ହଜିଯିବ । ମାତ୍ର, ଯେତେବେଳେ flux କମିଯିବ ଓ ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ ମାତ୍ର ଗୋଟିଏ ଫୋଟନ ପଡ଼ୁଥିବ, କଣିକାଗୁଣ ପ୍ରାଧାନ୍ୟ ଲାଭ କରିବ ଏବଂ ତରଙ୍ଗ ସ୍ୱଭାବରେ ବିସ୍ତାର କଲେ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛର କୌଣସି ଧାରବାହୀ ବର୍ଣ୍ଣନା ମିଳିବ ନାହିଁ । ତେବେ ବି, E^2ର ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ସମୟ ବ୍ୟବଧାନରେ ଗଡ଼ ଫୋଟନ flux Nର ସାର୍ଥକ ପରିମାପ ଦେବ ବା ପକ୍ଷାନ୍ତରରେ $\vec{E}^2dV$ର ମୂଲ୍ୟ ଗୋଟିଏ କ୍ଷୁଦ୍ର ଘନ ଏକକ dV ମଧ୍ୟରେ ଫୋଟନଟିକୁ ପାଇବାର ସମ୍ଭାବନା ସହିତ ଅନୁପାତୀ ହେବ ।

ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଓ ଫୋଟନ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ମଧ୍ୟରେ ଉପମା ଦେଖାଇବାକୁ ଯାଇ ଆମେ ଅନୁମାନ କରୁଥାଉ ଯେ ବିଦ୍ୟୁତ ତୀବ୍ରତା ଫୋଟନ ପାଇଁ ଯେଉଁ କାର୍ଯ୍ୟ କରେ, x ଦିଗରେ

ଅପରିବର୍ତ୍ତୀ ସଂବେଗ P_x ସହ ଗତି କରୁଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛରେ ଏକ ତରଙ୍ଗ ଫଙ୍କସନ୍ ψ ସହ ଅଗ୍ରଗାମୀ ତରଙ୍ଗ ସେହି କାର୍ଯ୍ୟ କରିଥାଏ । ଡି ବ୍ରଗ୍ଲିଙ୍କୁ ଅନୁସରଣ କରି ଆମେ ନେବା

$$\psi = Ae^{2\pi i\left(\frac{x}{\lambda} - \nu t\right)} = Ae^{i(p_x x - Et)/\hbar} \qquad (୧୧·୧୩)$$

ଏଠାରେ $\lambda = \frac{h}{p}$ ଏବଂ $E = h\nu$ ସମ୍ବନ୍ଧ ଦୁଇଟି ବ୍ୟବହାର କରିଥାଉଁ । ଉକ୍ତ ସମ୍ବନ୍ଧ ସମୀକରଣ (୧୧·୧୦)ର ଅନୁରୂପ ଓ ତାହା ସମୀକରଣ (୧୧·୧୩)ର ପ୍ରକୃତ ପକ୍ଷ । ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛର ଆଲୋଚନାରେ ψକୁ ଗୋଟିଏ ଜଟିଳ (complex) ରାଶି ଭାବରେ ନିଆଯାଉଛି, ମାତ୍ର ବିଦ୍ୟୁତ ତୀବ୍ରତା E ଗୋଟିଏ ଲକ୍ଷ୍ୟ ରାଶି ଏବଂ ସେହି କାରଣରୁ ପ୍ରକୃତ । ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଓ ଫୋଟନଗୁଡ଼ିକର ତରଙ୍ଗର ବର୍ଣ୍ଣନାରେ ଯେ ପ୍ରଭେଦ ରହିବ, ଏଥିରେ ଆଶ୍ଚର୍ଯ୍ୟ ହେବାର କିଛି ନାହିଁ, କାରଣ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ, ଚାର୍ଜ ଓ ଫୋଟନଠାରୁ ଭିନ୍ନ ସ୍ପିନ ରହିଛି । ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଓ ଫୋଟନଗୁଡ଼ିକର ଗୁଣରେ କେତେକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ଅଛି ଓ କେତେକ ଗୁଣରେ ସେମାନେ ପରସ୍ପରଠାରୁ ଭିନ୍ନ ।

ସ୍ୱଠାବିକ ପ୍ରଶ୍ନ ଉଠେ; ଏହି ରହସ୍ୟାବୃତ ψର ଭୌତିକ ତାତ୍ପର୍ଯ୍ୟ କଣ ? ଏହି ପ୍ରଶ୍ନର ବେଳେବେଳେ ଉତ୍ତର ଦିଆଯାଏ ଯେ ପରୀକ୍ଷାର ଫଳାଫଳକୁ ବୁଝାଇବା ପାଇଁ ହିସାବ କରିବାରେ ସୁବିଧା ଦୃଷ୍ଟିରୁ ψ କେବଳ ଗୋଟିଏ ଗାଣିତିକ ରାଶି । ଉଦାହରଣ-ସ୍ୱରୂପ, ପୂର୍ବରୁ ବର୍ଣ୍ଣିତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ସ୍ଫଟିକରେ ବିବର୍ତ୍ତନ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ପରୀକ୍ଷାଗୁଡ଼ିକରେ ପରୀକ୍ଷକ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଉତ୍ସ ରଖି ସେଥିରୁ ସ୍ଫଟିକ ଆଡ଼କୁ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଶକ୍ତିବିଶିଷ୍ଟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ପ୍ରେରଣ କରନ୍ତି । କୌଣସି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ କୋଣରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ ଉଦ୍‌ଘାଟକ ଯେଉଁ ସୂଚନା ଦିଏ, ସେଥିରୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିଏ ସଂଗୃହୀତ ହେଉଛି ବୋଲି ଅର୍ଥ କରାଯାଏ । ଏହିପରି ଏକ ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣର ଏକ ପାରମାଣବିକ ତତ୍ତ୍ୱ ଗଢ଼ିବାପାଇଁ ଆମେ ଅନୁମାନ କରୁ ଯେ $\nu = \frac{E}{h}$ ଆବୃତ୍ତିର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ତରଙ୍ଗସବୁ ସ୍ଫଟିକ ଉପରେ ପଡ଼େ ଏବଂ ଉଦ୍‌ଘାଟକ ଥିବା ଦିଗରୁ ଏଥିରୁ କେତେ ବିଚ୍ଛୁରିତ ହୁଏ, ଆମେ ହିସାବ କରୁ । ଏଥିରୁ କେତେକ ନିୟମ ଅନୁସରଣ କରି ଉଦ୍‌ଘାଟକର ସୂଚନା କ'ଣ ବୁଝାଉଛି ଆମେ ସିଦ୍ଧାନ୍ତ

କରୁ । ଏହିପରି ହିସାବ କରିବାରେ ଗୋଟିଏ ଗାଣିତିକ ସଂକେତ ψ ପ୍ରତି କୌଣସି ଭୌତିକ ତାତ୍ପର୍ଯ୍ୟ ଦେବାର ପ୍ରକୃତରେ କୌଣସି ଆବଶ୍ୟକତା ନାହିଁ ।

ଏହିପରି ଏକ ମତ ସପକ୍ଷରେ ବହୁତ କଥା କୁହାଯାଇ ପାରିବ । ଯାହା ହେଲେବି, ଲବ୍ଧ ଫଳାଫଳହିଁ ଭୌତିକ ବିଜ୍ଞାନର ପ୍ରଧାନ ବସ୍ତୁ; ତତ୍ପର ଉଦ୍ଦେଶ୍ୟ ହେଲା— ଏହି ଫଳାଫଳଗୁଡ଼ିକୁ ଏକାଠି କରିବା; ଆମେ ଯେଉଁ ନିୟମିତ ଅନୁଭୂତିଗୁଡ଼ିକୁ 'ନିୟମ' ବୋଲି କହୁଥାଉ, ସେହିପରି ଶ୍ରେଣୀଭୁକ୍ତ କରିବା; ଏବଂ ନୂତନ ପରୀକ୍ଷାଗୁଡ଼ିକର ଫଳାଫଳ ଆଗରୁ ସୂଚାଇବା । ଏପରିକି ଲବ୍ଧ ଫଳାଫଳକୁ ବର୍ଣ୍ଣନା କରିବାପାଇଁ ଓ ବୁଝାଇବାପାଇଁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଗତିକୁ ଏକ କଣିକାର ଗତି ବୋଲି ମାନିନେବା ଏକ ସହାୟକ ଧାରଣା । ଏହି କଣିକାରୂପୀ ସହାୟକ ଧାରଣା ମନରେ ନେବା ସହଜ ଓ ଏହାର ବ୍ୟବହାର ବହୁ ବିଜ୍ଞାନୀଙ୍କୁ ସହଜସାଧ୍ୟ ମନେ ହୁଏ । କେତେକ ପରୀକ୍ଷା ଫଳ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକୁ କଣିକା ବୋଲି ନେଲେ ବୁଝିବା ସହଜସାଧ୍ୟ ହେଉଥିବାବେଳେ, ଆଉ କେତେକ ପରୀକ୍ଷାବେଳେ ତରଙ୍ଗଗୁଡ଼ିକର ବ୍ୟତିକରଣ ଦ୍ୱାରା ବୁଝାଯାଇ ପାରିବ । ତେଣୁ ଏହି ତରଙ୍ଗଗୁଡ଼ିକୁ ବା ଯେଉଁ ψ ସାହାଯ୍ୟରେ ଗାଣିତିକ ତଥ୍ୟ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଏ, ତାକୁ ଯଥାସମ୍ଭବ ଭୌତିକ ଅର୍ଥ ଦେବାକୁ ଚେଷ୍ଟା କରିବାର ମୂଲ୍ୟ ରହିଛି । ଅବସ୍ଥା-ଭେଦରେ ଦୁଇଟି ଭିନ୍ନ ବାଟରେ ଏହା କରାଯାଇ ପାରିବ ବୋଲି ଜଣା ପଡ଼ୁଛି ।

୧ । ବର୍ତ୍ତମାନ ବର୍ଣ୍ଣନା କରାଯାଇଥିବା ପରୀକ୍ଷା ପରି ବିଚ୍ଛୁରଣ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ପରୀକ୍ଷାମାନଙ୍କର ତରଙ୍ଗମାନଙ୍କର ମୋଟ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ଅନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ବୋଲି ଅନୁମାନ କରାଯାଏ । ଏଠାରେ ψକୁ ସମୀକରଣ (୧୧·୧୮) ରୂପରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଏ । ψର ପରମମାନର ବର୍ଗ ବା $|\psi|^2$କୁ ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ ଏକକ କ୍ଷେତ୍ରଫଳ ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଗତି କରୁଥିବା କଣିକାମାନଙ୍କର (ଦୁଇ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ) ସଂଖ୍ୟାର ଅନୁପାତୀ ବୋଲି ମନେ କରାଯାଏ । ଏଠାରେ ଏକକ କ୍ଷେତ୍ରଫଳ ଗତିପଥ ପ୍ରତି ଲମ୍ବଭାବରେ ନିଆଯାଏ ।* ତେଣୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ବିବର୍ତ୍ତନ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ଗୋଟିଏ ପରୀକ୍ଷାରେ ଆପତିତ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛରେ

* ଏହି ଫ୍ଲକ୍ସ ସମ୍ବନ୍ଧ ହାତରେ ଥିବା ସମସ୍ୟାଟି ପାଇଁ ପ୍ରଯୁଜ୍ୟ । ସାଧାରଣ ସମ୍ବନ୍ଧ ପାଇଁ ୧୬·୭ ଅନୁଚ୍ଛେଦ ଦେଖ ।

n_0 ସଂଖ୍ୟକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ ଏକକ କ୍ଷେତ୍ରଫଳ ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଗତି କରନ୍ତୁ ଏବଂ ଏହି ରଶ୍ମି ଗୁଚ୍ଛରେ ଥିବା ତରଙ୍ଗଗୁଡ଼ିକୁ ପ୍ରକାଶ କରିବାପାଇଁ ψ ସ୍ଥାନରେ ψ_0 ନିଆଯାଉ । ତେବେ, ଯଦି ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକୀରେ ହିସାବ କରିବାଦ୍ୱାରା କୌଣସି ଏକ ଦିଗରେ ବିବର୍ତ୍ତିନକୁ ପ୍ରକାଶ କରିବାପାଇଁ ψ ସ୍ଥାନରେ ψ_d ନିଆଯାଏ ସେହି ଦିଗରେ ବିବର୍ତ୍ତିତ ରଶ୍ମି ଗୁଚ୍ଛର ତାତ୍ତ୍ୱିକ ମୂଲ୍ୟ ବା ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ ଏକକ କ୍ଷେତ୍ରଫଳ ମଧ୍ୟରେ ଗତି କରୁଥିବା ବିବର୍ତ୍ତିତ ଇଲେକଟ୍ରନ ସଂଖ୍ୟା ହେବ

$$n_d = \left|\frac{\psi^d}{\psi_0}\right|^2 n_0 \qquad (୧୧.୧୪)$$

[ଅବଶ୍ୟ ଆପତିତ ଓ ବିବର୍ତ୍ତିତ ରଶ୍ମି ଗୁଚ୍ଛ ଯେଉଁ ଅଞ୍ଚଳରେ ଗତି କରୁଛନ୍ତି, ସେଠାରେ ସମୀକରଣ (୧୧.୧)ରେ ଥିବା Pର ମୂଲ୍ୟ ସମାନ ହେବା ଦରକାର ।] ଏହି ପ୍ରଣାଳୀ ଆଲୋକ ବିଜ୍ଞାନରେ ମିଳୁଥିବା ସମ-ସମସ୍ୟା ସମାଧାନର ଅନୁରୂପ ପ୍ରଣାଳୀ । ଗୋଟିଏ ଆଲୋକ ରଶ୍ମି ଗୁଚ୍ଛର ତୀବ୍ରତା ଅର୍ଥାତ୍ ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ ଏକକ କ୍ଷେତ୍ରଫଳ ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଗତି କରୁଥିବା ଫୋଟନ ସଂଖ୍ୟା (ଏକ ବର୍ଗ ଘନ ମଧ୍ୟରେ) ବିଦ୍ୟୁତ ଭେକ୍ଟରର ବର୍ଗ ବା E^2 ପ୍ରତି ଅନୁପାତୀ । ଏଠାରେ ପ୍ରଧାନ ପ୍ରଭେଦ ହେଲା ψ ଗୋଟିଏ ଜଟିଳ ରାଶି ହୋଇଥିବାରୁ ଆମେ ψ^2 ବ୍ୟବହାର ନକରି $|\psi|^2$ ବ୍ୟବହାର କରିବା । ସାଧାରଣତଃ $|\psi|^2$ ପରିବର୍ତ୍ତେ $\psi^*\psi$ ଲେଖାଯାଏ ଓ ଏହାଦ୍ୱାରା ଜଟିଳ ସଂଯୁଗ୍ମୀ ବୁଝାଯାଏ ।

ବର୍ତ୍ତମାନ ଦୁଇଫାଟ ବ୍ୟତିକରଣ ସମସ୍ୟାକୁ ଫେରି ଆସିବା । ଆମେ ଦେଖିବା ଯେ ଯଦି ସମୀକରଣ (୧୧.୧୩) ପ୍ରକୃତରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନକୁ ଲାଗୁ ହେବ, ଆମେ ଚିତ୍ର (୧୧.୬b)ରେ ଦିଆଥିବା ରେଖା ପାଇବାକୁ ଆଶା କରିବା । ପରଦା ଉପରେ ଯେକୌଣସି ବିନ୍ଦୁରେ ପ୍ରଥମ ଫାଟରୁ ଅବଦାନ ψ_1 ଓ ଦ୍ୱିତୀୟ ଫାଟରୁ ଅବଦାନ ψ_2 ରହିଅଛି; ତେଣୁ ଲବ୍ଧ ତରଙ୍ଗ-ଫଙ୍କସନ୍‌ର ସାମ୍ୱାବ୍ୟ ବିସ୍ତାର ହେଲା $\psi = \psi_1 + \psi_2$ । ପରଦାର ଏହି ବିନ୍ଦୁରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପହଞ୍ଚିବାର ସମ୍ଭାବନା $\psi^*\psi$ ର ଅନୁପାତୀ । ଯଦି କୌଣସି ସ୍ଥାନରେ $\psi_1 = -\psi_2$ ହୁଏ, $\psi^*\psi$ ଶୂନ୍ୟ ହେବ ଏବଂ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବ୍ୟତିକରଣ ବିନ୍ୟାସ ମିଳିପାରିବ ।

(୨) ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ସମସ୍ୟା ସବୁ ରହିଛି, ଯଥା—ଅନେକ ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରସ୍ତାବ ଏଠାରେ ଜଣେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବା ଅନ୍ୟ କୌଣସି କଣିକାର ଗତିପଥ ଅନୁସରଣ କରିବାକୁ ଇଚ୍ଛା କରେ । ସେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ କଣିକା ସମ୍ବନ୍ଧରେ ψ ନଥାଏ । ସାଧାରଣତଃ ଗୋଟିଏ ଦତ୍ତ ସମସ୍ୟାରେ ψର ମୂଲ୍ୟ ଶୂନ୍ୟଠାରୁ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ଭାବରେ ପ୍ରଭେଦ ହୋଇଥାଏ—ଗୋଟିଏ ସସୀମ ଅଞ୍ଚଳରେ ତରଙ୍ଗ ସମୀକରଣର ପରୋକ୍ତ ପ୍ରକାରର ସମାଧାନକୁ ତରଙ୍ଗ ପକେଟ କୁହାଯାଇଥାଏ । ଏହିପରି ଘଟଣାରେ ପଚ୍ଚରିବା ସ୍ୱାଭାବିକ ଯେ ତରଙ୍ଗ ପକେଟରେ କଣିକା କେଉଁଠାରେ ଥାଏ ? ଗ୍ରହଣୀୟ ଉତ୍ତର ସମ୍ଭାବନା ଭାଷାରେ ବ୍ୟକ୍ତ କରାଯାଇପାରେ । କଣିକାର ଅବଚ୍ଛିନ୍ନ ψର ମୂଲ୍ୟକୁ ମିଳୁଥିବା ସୂଚନା ବ୍ୟତୀତ ଆଉ ଅଧିକ ସ୍ପଷ୍ଟଭାବରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇ ପାରିବ ନାହିଁ ବୋଲି ସାଧାରଣତଃ ମନେ କରାଯାଏ । ଯଦି ଯେକୌଣସି ମୁହୂର୍ତ୍ତରେ ସୁବିଧାଜନକ ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣ କରାଯାଏ, ψ ଯେଉଁଠାରେ ଶୂନ୍ୟଠାରୁ ଭିନ୍ନ କଣିକାଟି ସେପରି ଯେକୌଣସି ବିନ୍ଦୁରେ ମିଳିପାରିବ । କୌଣସି ବିନ୍ଦୁର ନିକଟରେ ଏହାକୁ ପାଇବାର ସମ୍ଭାବନା ସେହି ବିନ୍ଦୁରେ $|\psi|^2$ର ମୂଲ୍ୟର ଅନୁପାତୀ । ଅଧିକ ସ୍ପଷ୍ଟଭାବରେ କହିଲେ, କୌଣସି ବିନ୍ଦୁରେ ସମ୍ଭାବନା ସାନ୍ଦ୍ରତା $|\psi|^2$ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରାଯାଏ, କୌଣସି ମୌଳିକ ଘନ $dxdydz$ରେ କଣିକାଟିକୁ ପାଇବାର ସମ୍ଭାବନା ହେଲା

$$\psi^*\psi \, dxdydz \text{ର} \qquad (୧୧{\cdot}୧୫)$$

ତରଙ୍ଗ ସ୍କେଲର୍‌କୁ ବେଳେବେଳେ କଣିକାର ଅବସ୍ଥାନ ପାଇଁ ସମ୍ଭାବନା ବିସ୍ତାର ବୋଲି କୁହାଯାଏ ।

ଏଠାରେ ବ୍ୟକ୍ତ କରାଯାଇଥିବା ଅର୍ଥ ψ ଉପରେ କେତେକ ଗାଣିତିକ ଆବଶ୍ୟକତା ଆରୋପ କରୁଛି ! କଣିକାଟିକୁ କେଉଁଠାରେ ହେଲେ ପାଇବାର ମୋଟ ସମ୍ଭାବନା ଅବଶ୍ୟ ଏକ । ତେଣୁ ψ ନିଶ୍ଚୟ

$$\int\int\int \psi^*\psi \, dxdydz = 1 \qquad (୧୧{\cdot}୧୫a)$$

ସମ୍ବନ୍ଧ ପାଳନ କରିବ । ଏହି ଛିବାର ସମାକଳ x, y, zର ସମସ୍ତ ମୂଲ୍ୟରେ ପ୍ରସାରିତ ହୋଇଅଛି । ଯେଉଁ ψ ଏହି ସମ୍ବନ୍ଧ ପାଳନ କରିଅଛି, ତାହା ସାଧାରଣୀକୃତ (ଏକକୁ) ହୋଇଅଛି ବୋଲି ବୁଝାଯାଏ ।

କଣିକାର ଗତିବେଗ ବା ସଂବେଗ ସହ ତରଙ୍ଗ ପକେଟର ମଧ୍ୟ ଆକର୍ଷଣୀୟ ସମ୍ବନ୍ଧ ରହିଅଛି । ପୂର୍ବାନୁପୂର୍ବ ଆଲୋଚନାରୁ ଏହି ସମ୍ବନ୍ଧଗୁଡ଼ିକ ବାହାରୁଛି । ମନେକର କଣିକାଟି ଶକ୍ତିସ୍ଥାନରେ ଅଛି, ଏଠାରେ $P=0$ । ତେଣୁ $E=\dfrac{p^2}{2m}$ । ଏହାପରି ଏକ କଣିକା ସମୀକରଣ (୧୧·୧୩) ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇ ପାରିବ ନାହିଁ: କାରଣ ଏହି ସମୀକରଣ ଦ୍ୱାରା ଅସୀମ ତରଙ୍ଗ ସଂଭ ପ୍ରକାଶ ପାଏ, ଯେହେତୁ $A\equiv0$ ନହେଲେ ଏହା

$$\int\int\int \psi^*\psi dxdydz=\infty$$

କରେ । ତେଣୁ ଆମେ ସିଦ୍ଧାନ୍ତ କରୁ ଯେ ଗୋଟିଏ କଣିକା ପାଇଁ ସୁସ୍ପଷ୍ଟ ଭାବରେ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଗତିବେଗ ବା ସଂବେଗ ମିଳିବା ସମ୍ଭବ ନୁହେଁ । ତେବେ ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ସଂବେଗ ଲାଭ କରିବାର ଯେତେ ପାଖକୁ ଆମେ ଇଚ୍ଛା କରିବା ସେତେ ପାଖକୁ ନେଇ ପାରିବା, କାରଣ ସମୀକରଣ (୧୧·୧୩)ରୁ ψ ଯେତେ ଇଚ୍ଛା ସେତେ ଅଞ୍ଚଳରେ ଅଜଣା ରହିବ ବୋଲି ଅନୁମାନ କରାଯାଇପାରିବ, ଏହି ଅଞ୍ଚଳରେ ସୀମା ବାହାରେ ଶୂନ୍ୟକୁ ଖସିଯିବ । ସେତେବେଳେ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ Aକୁ ଏପରି ଶ୍ଳେଷ କରି ବାଛିବା ଯେପରିକ

$$\int\int\int \psi^*\psi dxdydz=1$$ କରୁ ସେତେବେଳେ

କଣିକାର ଅବସ୍ଥାନ, ସୁସ୍ପଷ୍ଟ ହେବ ନାହିଁ କାରଣ $\psi^*\psi$ର ମୂଲ୍ୟ ପର୍ଯ୍ୟାପ୍ତ ମଧ୍ୟରେ ଘନରେ ସସୀମ ।

11·8 ହାଇଜେନବର୍ଗ ଅନିଶ୍ଚିତ ନିୟମ :

ଡି ବ୍ରଗ୍ଲି ପ୍ରତିପାଦ ଦେଇଥିଲେ ଯେ v ଗତିବେଗ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ କଣିକାର ଗତି, v ଗୁଚ୍ଛ ଗତିବେଗ ବିଶିଷ୍ଟ ଅଗ୍ରଗାମୀ ତରଙ୍ଗମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ନିୟନ୍ତ୍ରିତ ହୋଇଥାଏ । ଏଥିରୁ

ଜଣାପଡ଼ୁଛି ଯେ କଣିକାର ସଂବେଗ ୨ ଅବସ୍ଥିତ, ତଥାପି ଆମେ ଏକ ସମୟରେ ଗୋଟିଏ ସୂକ୍ଷ୍ମତାରୁ ଅଧିକ ସୂକ୍ଷ୍ମଭାବେ ସ୍ଥିର କରିପାରୁନାହିଁ । ମନେକର ଚିତ୍ର ୧୧.୨ରେ ଦିଆଯାଇଥିବା ତରଙ୍ଗ ଦୁଇଟି ଗୋଟିଏ କଣିକାର ଅଗ୍ରଗାମୀ ତରଙ୍ଗ ଓ କଣିକାଟି ଆବରଣର ରେଖାଙ୍କିତ ଅର୍ଦ୍ଧେକରେ କୌଣସିଠାରେ ଅଛି ବୋଲି ମନେ କରାଯାଉ । ତେବେ ଅବସ୍ଥିତରେ ଅନିଶ୍ଚିତତା $\lambda_m/2$ରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରେ ଓ $\Delta x=\pi/\Delta k$ (ଚିତ୍ର ୧୧.୨) ହେବ ।

$k=\frac{2\pi}{\lambda}=\frac{2\pi P}{h}$ରୁ ଆମେ ପାଇବା $\Delta k=(2\ \Delta P)/h$ ଦୁଇ ତରଙ୍ଗର ପ୍ରବାହ ସଂଖ୍ୟାରେ ପ୍ରଭେଦ $2\Delta k$, ତେଣୁ ସଂବେଗର x ସଂଯୋଜକରେ ଅନିଶ୍ଚିତତା $\Delta P_x=(2h\Delta k)/2\pi$; ଏଥିରୁ ମିଳିବ

$$\Delta x\Delta P\simeq h \qquad (୧୧.୧୨)$$

ଗୋଟିଏ କଣିକାର ଗତି ବର୍ଣ୍ଣନା କରିବାପାଇଁ ଦୁଇଟି ତରଙ୍ଗର ଆବୃତ୍ତିରେ ଅଳ୍ପ ପ୍ରଭେଦ ଥାଇ ସେମାନେ ସ୍ପନ୍ଦନ ସୃଷ୍ଟି କରିଲେ ତରଙ୍ଗ ବାଛିବା ସର୍ବୋତ୍କୃଷ୍ଟ ପ୍ରଣାଳୀ ନୁହେଁ ବୋଲି ସେଥିରେ ଆଶ୍ଚର୍ଯ୍ୟ ହେବାର କିଛି ନାହିଁ । ଏହା ଆମକୁ ଗୋଟିଏ ସ୍ପନ୍ଦନ ବିନ୍ୟାସ (ଚିତ୍ର ୧୧.୨) ଦେବ ଓ ଏହା ଗୋଟିଏ ଗୁଳା ଧାଡ଼ି ପରି ଜଣାଯିବ । ଅନ୍ୟ ଆବୃତ୍ତି ସବୁ ଯୋଗ କରି କେବଳ ଗୋଟିକ ଛଡ଼ା ଅନ୍ୟ ସବୁ ଗୁଳା ପ୍ରତ୍ୟାହାର କରିବା ସମ୍ଭବ (ଅନୁ' ୧୨.୪) ଏବଂ ଆମର ଯେପରି ଇଚ୍ଛା ସେପରି କୌଣସି Δx ଦ୍ୱାରା କଣିକାଟି ପାଇଁ ସ୍ଥାନ ନିର୍ଦ୍ଦେଶ କରି ତରଙ୍ଗ ପକେଟ ସୃଷ୍ଟି କରିପାରିବା; କିନ୍ତୁ ତରଙ୍ଗ ପକେଟର ସର୍ବୋତ୍ତମ ଆକାର ବାଛିବା ପରେ ମଧ୍ୟ ଯୁଗପତ୍ ଭାବରେ Δx ଓ ΔP ଶୂନ୍ୟକୁ କମାଇ ଦେବା ସମ୍ଭବ ନୁହେଁ ।* ପ୍ରକୃତରେ, ଯେକୌଣସି ତରଙ୍ଗ ପକେଟ ବାଛିଲେ ମଧ୍ୟ

$$\Delta x\Delta P_x\geq\frac{\hbar}{2} \qquad (୧୧.୧୬)$$

---

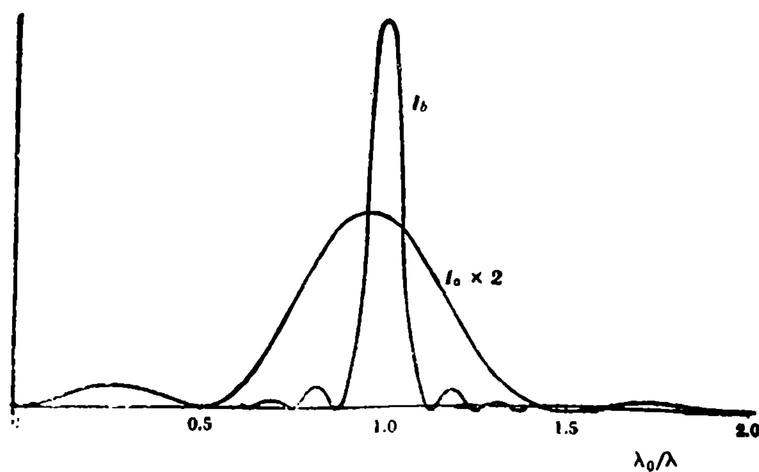
* ଦୁର୍ଭାଗ୍ୟବଶତଃ, ଦ୍ୱାଦଶ ଅଧ୍ୟାୟରେ Δx ଓ ΔPର ପାରିମାଣିକ ସଂଜ୍ଞା ଦେବାପାଇଁ ଆମେ କେତେକ ବିଷୟରେ ଅବତାରଣା କରିବା । ଅନୁଚ୍ଛେଦ ୧୨.୬ରେ ଏହା ଦିଆ ହେବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ସମୀକରଣ (୧୧.୧୬)ର ପାରିମାଣିକ ଲଭିତ ଅସ୍ପଷ୍ଟ ରହିବାକୁ ହେବ ।

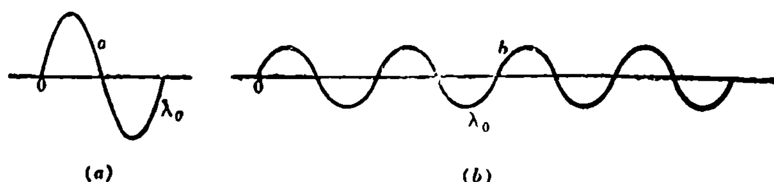
ଏହି ତଥ୍ୟ ପ୍ରଥମେ 1927 ମସିହାରେ ହାଇସେନବର୍ଗ ପ୍ରକାଶ କରିଥିଲେ । ସେ ଏହାକୁ (Unbestimmtheit) ନିୟମ ବୋଲି ନାମକରଣ କରିଥିଲେ । ଏହି ଶବ୍ଦକୁ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ଭାବରେ ଅନୁବାଦ କରାଯାଇଅଛି; ଯଥା- ଅନାକୁପେୟତା, ଅନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟତା ବା ଅନିଶ୍ଚିତତା ।

କଣିକା ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ କେତେକ ଯାନ୍ତ୍ରିକ ରାଶିରେ ଯେଉଁ ଅନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟତା ଆମେ ବର୍ତ୍ତମାନ ଦେଖିଆସିଁ, ଯଥା —ଏହାର ସଂବେଗରେ ବା ଅବସ୍ଥିତିରେ, ତାହା ତରଙ୍ଗ ଯାନ୍ତ୍ରିକର ଏକ ମୌଳିକ ବସ୍ତୁର । ତରଙ୍ଗ ପକେଟକୁ ଅତି ସାନ କରି ଅବସ୍ଥିତିରେ ଅନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟତା କମାଇ ହେବ (କେବଳ ଗୋଟିଏ କ୍ଷୁଦ୍ର ଅଞ୍ଚଳ ଛଡ଼ା ψ କାର୍ଯ୍ୟତଃ ଅନ୍ୟ ସବୁଠାରେ ଶୂନ୍ୟ ହେବ ।); କିନ୍ତୁ ସେକ୍ଷେତ୍ରରେ ଦେଖାଇ ହେବ ଯେ ପକେଟଟି ଅତି ଶୀଘ୍ର ପ୍ରସାରିତ ହୋଇଯିବ କାରଣ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ (ବହୁ ସଂଖ୍ୟା ବିସ୍ତାର) ପ୍ରବାହ ସଂଖ୍ୟା ଦରକାର ହେବ । ତେଣୁ ଗୋଟିଏ କ୍ଷୁଦ୍ର ପକେଟ ଅର୍ଥ ସଂବେଗ ଓ ଗତିବେଗରେ ଅଧିକ ଅନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟତା । ଅନ୍ୟ ପକ୍ଷରେ, ଯଦି ଆମେ ψ କୁ ସମୀକରଣ (୧୧.୧୩)ରେ ଥିବା ରୂପ ବହୁ ଅଞ୍ଚଳରେ ଦେବା, ଗତିବେଗ ଓ ସଂବେଗ ଅତି କ୍ଷୁଦ୍ର ସୀମା ମଧ୍ୟରେ ରହିଯିବ ସତ, ମାତ୍ର ଅବସ୍ଥିତି ବହୁ ପରିମାଣରେ ଅନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ହୋଇଯିବ ।

ଅନିଶ୍ଚିତତା ନିୟମର ଆଲୋକ ବିଜ୍ଞାନ କ୍ଷେତ୍ରରେ ମଧ୍ୟ ଗୋଟିଏ ତୁଳନୀୟ ଧାରଣା ରହିଅଛି । ଆଲୋକର λ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ସାଇନାକୃସାରି (Sinusoidal) ତରଙ୍ଗ ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରିମାଣର ଶକ୍ତି ଧାରଣ କରିଥାଏ ଏବଂ ଏହା ସ୍ଥାନରେ ଅତି କମ୍ ଅଞ୍ଚଳରେ ରହିଥାଏ; ମାତ୍ର ଏହା ଏକବର୍ଣ୍ଣୀ ଆଲୋକ ହିଁଏନାହିଁ; କାରଣ, ଗୋଟିଏ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରୋସ୍କୋପ ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଗତି କରିବା ପରେ ଏହା ବର୍ଣ୍ଣାଳୀରେ ଅତିମାତ୍ରାରେ ବିସ୍ତାରିତ ହୋଇଯାଏ (ଚିତ୍ର ୧୧.୭ ଦେଖ) ଏକବର୍ଣ୍ଣୀ ଆଲୋକ ପାଇବାପାଇଁ ଆମର ବହୁ ତରଙ୍ଗର ପଂକ୍ତି ଥିବା ଦରକାର ଏବଂ ଏହା ସ୍ଥାନରେ ଅନୁରୂପ ବିକ୍ଷେପଣ ବୁଝାଉଅଛି । ସାଧାରଣ ଭାଷାରେ, ଯେକୌଣସି ତରଙ୍ଗ ପକେଟ (୧୩.୧୩) ପରି ତରଙ୍ଗ ପଂକ୍ତିରେ ବିସ୍ତାରିତ ହୋଇପାରିବ, ଠିକ୍ ଯେପରି ଯେକୌଣସି ଆଲୋକ ତରଙ୍ଗର ସମାହାର ଏକବର୍ଣ୍ଣୀ ପଂକ୍ତିମାନଙ୍କରେ ବିଶ୍ଳେଷିତ ହୋଇପାରିବ । ଏହାର ଅର୍ଥ ψ କୁ ଏକ ଫୁରିଅର ସମାକଳରେ ପ୍ରକାଶ କରିବା । ଯେତେବେଳେ କୌଣସି ସୁବିଧାଜନକ ଉପାୟରେ ଏହା କରାଯାଇ

ସାଗର, ଏହି ବର୍ଣ୍ଣନାରେ ବିଭିନ୍ନ ତରଙ୍ଗ ପଂକ୍ତିର ସଦସ୍ୟମାନଙ୍କ ସଂବେଗର ସାମ୍ଭାବ୍ୟ ବିସ୍ତାର ବୁଝାଇବ ଅର୍ଥାତ୍ କୌଣସି ସହରର ପରମାନର ବର୍ଗ କଣିକାଟି ସେହି ଦଗରେ ଅନୁରୂପ ତରଙ୍ଗ ପଂକ୍ତି ସହ ସଂଯୁକ୍ତ ସେହି ସଂବେଗ ବା ଗତିବେଗରେ ଗତି କରୁଛି ବୋଲି ସୁବିଧାଜନକ ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜଣାଯିବ । ତେଣୁ ଗୋଟିଏ କଣିକାର ସୂକ୍ଷ୍ମସ୍ଥଳରେ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ସଂବେଗ ରହି ନପାରେ ।





[ଚିତ୍ର ୧୧·୭, ଗୋଟିଏ ସାଇନାନୁସାରୀ ତରଙ୍ଗ (a) λ_0 ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ, ଏହା ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରୋଗ୍ରାମ୍‌ରେ ବିଶ୍ଳେଷିତ ହୋଇ (I_a ରେଖା) ବହୁ ଅଞ୍ଚଳବ୍ୟାପୀ ସଂଯୋଜକ ତରଙ୍ଗମାଳା ହୋଇଅଛି । ସ୍ଥିରତରଙ୍ଗ ପଂକ୍ତିର (b)ର ବିଶ୍ଳେଷଣ λ_0ଠାରେ (I_b ରେଖା) ଅଧିକ ଉଚ୍ଚ ଶୃଙ୍ଗ ଦେଖାଉଛି]

ଗୋଟିଏ ତରଙ୍ଗ ପକେଟ ଗୋଟିଏ କଣିକାର ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଅବସ୍ଥାନ ଓ ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ସଂବେଗ ପ୍ରକାଶ କରିପାରିବ ନାହିଁ ବୋଲି ସିଦ୍ଧାନ୍ତ କରିବା ପ୍ରକୃତ ଘଟଣାର ବିରୁଦ୍ଧାଚରଣ କଲାପରି ମନେ ହେବ । କାରଣ ଅବସ୍ଥାନ ଓ ସଂବେଗ, ଉଭୟ ମାପ କରାଯାଇ ପାରିବ, ଯେପରିକି ଗୋଟିଏ ଗ୍ରାଇଣ୍ଡଗୁଳା ଗତି କଲାବେଳେ ଏହାର ଦୁଇଟି ଛବି ଉଠାଇ କୌଣସି ଦତ୍ତ ମୁହୂର୍ତ୍ତରେ ତା'ର ଅବସ୍ଥିତି ଓ ଗତି ହିସାବ କରାଯାଇ ପାରିବ । ତେବେ, ହାଇଜେନ୍‌ବର୍ଗ ଦର୍ଶାଇଲେ ଯେ ଏହା ସମ୍ଭବ ହେଉଛି କାରଣ ସାଧାରଣ ଭୌତିକ ପରିମାପରେ ଯେଉଁ ସୂକ୍ଷ୍ମତା ବ୍ୟବହୃତ କରାଯାଇଥାଏ, ସେଥିରେ, (୧୧'୭) ସମୀକରଣ ଦ୍ୱାରା ଅତି କମ୍ ପରିମାଣର ଅନିଶ୍ଚିତତା ପରୀକ୍ଷାରେ ଥିବା ଭ୍ରମମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ହଜି ଯାଇଥାଏ ।

ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ବା ଗୋଟିଏ ଅଣୁ ପାଇଁ ଏହା ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଭିନ୍ନ ପ୍ରକାରର । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନର ଅବସ୍ଥିତି ପାରମାଣିକ ସୂକ୍ଷ୍ମତା ସହକାରେ କିପରି ସ୍ଥିର କରିବା ? ଆମେ ହୁଏତ, ଗୋଟିଏ ଅଣୁବୀକ୍ଷଣ ଯନ୍ତ୍ର ବ୍ୟବହାର କରିବା । ସେତେବେଳେ ଯଥେଷ୍ଟ ବିଯୋଜନ କ୍ଷମତା ପାଇବାପାଇଁ ଆମକୁ ଅତି କ୍ଷୁଦ୍ର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ଆଲୋକ ବ୍ୟବହାର କରିବାକୁ ପଡ଼ିବ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ଦୁଇଟି ସ୍ଥାନ ମଧ୍ୟରେ ଦୂରତା 10^{-11} ସେ. ମି. ହେଲେ ଏହି ଦୁଇ ସ୍ଥାନକୁ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ରଭାବେ ଦେଖିବାପାଇଁ ଆମେ γ ରଶ୍ମି ବ୍ୟବହାର କରିବା । ତେବେ ଏହି ଅବସ୍ଥାରେ, ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଉପରେ ଆଲୋକର ପ୍ରଭାବକୁ ଅବହେଳା କରି ହେବନାହିଁ । ଆମେ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନକୁ 'ଦେଖିବାକୁ' ହେଲେ ଏଥିରେ ବାଧା ପାଇ ଅନ୍ତତଃ ଗୋଟିଏ ଫୋଟନ ଅଣୁବୀକ୍ଷଣ ଯନ୍ତ୍ର ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରବେଶ କରିବା ଦରକାର । ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଠାରୁ ପ୍ରତ୍ୟାବର୍ତ୍ତିତ କରିବାକୁ ହେଲେ ଏହି ଫୋଟନଟି ତାକୁ ଏକ ବିଶାଳ କମ୍ପଟନ ଧକ୍କା ଦେବା ଦରକାର । ତେଣୁ ଆମେ ଯେଉଁ ମୁହୂର୍ତ୍ତରେ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନର ଅବସ୍ଥାନ ସ୍ଥିର କରିବା, ଏହାର ସଂବେଗ ଆକସ୍ମିକ ଭାବରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇ ସାରିଥିବ । ଆଉ ମଧ୍ୟ, ଏହି ପରିବର୍ତ୍ତନର ପରିଣାମ ସମ୍ବନ୍ଧରେ କିଛି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟତା ନାହିଁ, କାରଣ ବିଚ୍ଛୁରିତ ଫୋଟନ କେଉଁ କୋଣରେ ଏହି ପଟ୍ଟଭୂମି ପରିତ୍ୟାଗ କରିବ, ତା ଅନୁସାରେ ଏଥିରେ ତାରତମ୍ୟ ହେବ । ଅଣୁବୀକ୍ଷଣ ଯନ୍ତ୍ରର ବିଯୋଜନ କ୍ଷମତା ବିଶେଷ ଭାବରେ ନକମାଇ, ତା'ର ଦ୍ୱାରକୁ ଆଂଶିକ ବନ୍ଦ କରି, ଯେଉଁମଧ୍ୟରେ ବିଚ୍ଛୁରିତ ଫୋଟନର ପ୍ରବେଶ ଦିଗର ବିସ୍ତାରକୁ (ପରାସକୁ) ଆମେ ଅତି

ବେଶୀ ସୀମିତ କରିପାରିବା ନାହିଁ । ଏହି ବିଶ୍ଳେଷଣର ପାରିମାଣିକ ବିସ୍ତୃତ ପୁଣି ସମୀକରଣ (୧୧'୧୭)ରେ ପଢ଼ିଥାଇ ଦେବ ।

ତେଣୁ ମନେ ହୁଏ, ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପ୍ରତି ବା ଅନ୍ୟ କୌଣସି କ୍ଷୁଦ୍ର କଣିକା ପ୍ରତି, ଏକ ସମୟରେ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଅବସ୍ଥାନ ଓ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ସଂବେଗ (ବା ଶକ୍ତି) କୌଣସି ପ୍ରକୃତ ବା ସମ୍ଭବ ପରୀକ୍ଷାଦ୍ୱାରା ଆରୋପ କରାଯାଇ ପାରିବନାହିଁ । ସେହିହେତୁ କୌଣସି କ୍ଷେତ୍ରରେ ଗୋଟିଏ କଣିକାର ଏକ ସଙ୍ଗେ କୌଣସି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଅବସ୍ଥାନ ଓ କୌଣସି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ସଂବେଗ ରହିଛି ବୋଲି ପ୍ରକାଶ କରିବା ଅର୍ଥହୀନ; କାରଣ 1900 ମସିହାରୁ ଏହା ଭୌତିକରେ ଦିନକୁ ଦିନ ଅଧିକରୁ ଅଧିକ ଗ୍ରହଣୀୟ ହୋଇଅଛି ଯେ ଯେଉଁ ପରିମାପଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରତ୍ୟକ୍ଷଭାବରେ ବା ପରୋକ୍ଷ ଭାବରେ ପରୀକ୍ଷାଦ୍ୱାରା ଲବ୍ଧ, କେବଳ ସେହି ଗୁଡ଼ିକର ଭୌତିକ ତାତ୍ପର୍ଯ୍ୟ ରହିଅଛି । କଣିକା ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଆମର ପୁରାତନ ଧାରଣା ଯେ, ଏହା ଗୋଟିଏ ସୂକ୍ଷ୍ମଭାବରେ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପଥରେ ଗତି କରି ପାରିବ, ଯେକୌଣସି ମୁହୂର୍ତ୍ତରେ ଏହାର ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଅବସ୍ଥାନ ଓ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ସଂବେଗ ରହିଥିବ; ସେଥିପାଇଁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ, ପ୍ରୋଟନ, ଅଣୁ ବା ପରମାଣୁମାନଙ୍କୁ ଏହି ଧାରଣା ପୁରାପୁରି ଉପଯୋଗୀ ହୋଇପାରିବନାହିଁ । ଏହି କ୍ଷୁଦ୍ର ବସ୍ତୁ କଣିକାଗୁଡ଼ିକର କେତେକ କଣିକାଗୁଣ ଅଛି ବୋଲି କୁହାଯାଇପାରେ; କିନ୍ତୁ ସେମାନେ ମଧ୍ୟ କେତେକ ତରଙ୍ଗ ଗୁଣ ଲାଭ କରିଛନ୍ତି । ତେଣୁ ଏହି ଶବ୍ଦମାନଙ୍କର ପୁରାତନ ଅର୍ଥ ନେଲେ, ସେମାନେ ପ୍ରକୃତ କଣିକା ବା ପ୍ରକୃତ ତରଙ୍ଗ ନୁହନ୍ତି । ସ୍ର. ଜ' ଡାରୱିନ ସେମାନଙ୍କୁ ତରଙ୍ଗକଣା (Wareicles) ନାମ ଦେବାପାଇଁ ପ୍ରସ୍ତାବ ଦେଇଥିଲେ ।

ହାମିଲ୍ଟନୀୟ ଯାନ୍ତ୍ରିକ ସୂତ୍ରାବଳୀରେ ଯେଉଁ ଚରଦ୍ୱୟ କାନନିକାଲ କଞ୍ଜୁଗେଟ୍; ସେ ଚରଦ୍ୱୟ ପାଇଁ ହାଇସେନବର୍ଗ ଅନିଶ୍ଚିତ ସମ୍ବନ୍ଧ ଉପଯୋଗୀ ହେବ । Δx ଓ ΔP_x ସାଙ୍ଗକୁ, $\Delta y\, \Delta P_y \geq \frac{\hbar}{2}$, $\Delta z \Delta P_z \geq \frac{\hbar}{2}$ କାର୍ଟିସିଆନ ଅକ୍ଷ ପ୍ରଣାଳୀରେ ପାଇବା । $\Delta E\, \Delta t \geq \frac{\hbar}{2}$, ଏଠାରେ ΔE ହେଲା ଶକ୍ତିରେ ଅନିଶ୍ଚିତତା ଏବଂ Δt ହେଲା ସମୟରେ ଅନିଶ୍ଚିତତା । $\Delta\theta \Delta A_\theta \geq \frac{\hbar}{2}$, ଏଠାରେ ΔA_θ ହେଲା

କୌଣିକ ସଂବେଗରେ ଅନିଶ୍ଚିତତା ଓ $\Delta\theta$ ହେଲା ଅନୁରୂପ କୋଣରେ ଅନିଶ୍ଚିତତା । ଏହିପରି ଅନ୍ୟାନ୍ୟଗୁଡ଼ିକୁ ମଧ୍ୟ ନିଆଯାଇ ପାରିବ ।

11·9 ଶ୍ରୁଡ଼ିଙ୍ଗର ତରଙ୍ଗ ସମୀକରଣ :

ଡି ବ୍ରଗ୍ଲିଙ୍କର ପ୍ରସ୍ତାବମତେ, ଯଦି ଗୋଟିଏ କଣିକାର ତରଙ୍ଗଗୁଣ ଥାଏ, ତେବେ ଏହାର ତରଙ୍ଗ ଫଳନର ଗୁଣ ପ୍ରକାଶ କରିବାପାଇଁ କୌଣସି ପ୍ରକାରର ତରଙ୍ଗ ସମୀକରଣ ଥିବ । ତରଙ୍ଗ ଗତିର ଗାଣିତିକ ତତ୍ତ୍ୱ ସାଧାରଣତଃ ଅବକଳନ ସମୀକରଣ ସାହାଯ୍ୟରେ ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ । ଯେପରି x – ଦିଗରେ ଗତି କରୁଥିବା ଗୋଟିଏ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ତରଙ୍ଗ

$$\frac{\partial^2 \vec{E}_y(x,t)}{\partial x^2} = \frac{1}{c^2}\,\frac{\partial^2 \vec{E}_y(x,t)}{\partial t^2}$$

ସମୀକରଣ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇ ପାରିବ । ଏଠାରେ $\vec{E}_y$ ବିଦ୍ୟୁତ କ୍ଷେତ୍ରର y ସଂଯୋଜକ ।

ବସ୍ତୁ ତରଙ୍ଗମାନଙ୍କର ଅବକଳନ ସମୀକରଣଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରଥମ ନିୟମରୁ ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ପ୍ରଣାଳୀରେ ଆମେ ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ କରି ପାରିବା ନାହିଁ । କିନ୍ତୁ ତରଙ୍ଗଗୁଡ଼ିକର ଥିବା ଗୁଣ ପ୍ରକାଶ କଳ୍ପ ପର ତରଙ୍ଗ ସମୀକରଣ ଆମେ ଅନୁମାନ କରି ପାରିବା ଏବଂ ତା'ପରେ ଏହି ତରଙ୍ଗ ସମୀକରଣରୁ ମିଳୁଥିବା ଫଳସବୁ ପରୀକ୍ଷା ଲବ୍ଧ ଫଳ ସହିତ ତୁଳନା କରି ସେ ସମୀକରଣର ଉପଯୋଗିତା ସ୍ଥିର କରି ପାରିବା । (୧୧·୧୩) x ଦିଗରେ ଗତି କରୁଥିବା ଗୋଟିଏ ସମତଳ ତରଙ୍ଗର ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ବର୍ଣ୍ଣନା ବୋଲି ମନେ କରାଯାଉ । ତେବେ

$$\psi = A e^{i(p_x x - Et)/\hbar} \qquad (୧୧·୧୩)$$

ଏଥିରେ ଯେଉଁ କଣିକା ψ ଦ୍ୱାରା ପରିଚାଳିତ ତାପାଇଁ E ଓ P

$$\frac{P_x^2}{2m} + P = E \qquad (୧୧·୧୪)$$

ଦ୍ୱାରା ସଂପୃକ୍ତ । ଏଠାରେ P ହେଲା କଣିକାଟିର ସ୍ଥିତଜ ଶକ୍ତି ଏବଂ $\frac{p_x^2}{2m}$ ଏହାର ଗତଜ ଶକ୍ତି । ψ ପାଇଁ ଯେଉଁ ଅବକଳନ ସମୀକରଣ ଉପଯୋଗୀ ହେଉନା କାହିଁକି, ସମୀକରଣ (୧୧'୧୩) ରୂପରେ ପ୍ରକାଶିତ ψର ଯେକୌଣସି ଗ୍ରହଣୀୟ ଫଳନ, ଏହାର ସମାଧାନ ହେବ । ତେବେ ଆମେ ଚେଷ୍ଟା କରୁ ଏପରି ଏକ ଅବକଳନ ସମୀକରଣ ସ୍ଥିର କରିବା ଯେପରି କି ψ ପାଇଁ ଦିଆଥିବା ଉକ୍ତି ସେଥିରେ ବସାଇଲେ, ସମୀକରଣ (୧୧'୧୮)ରେ ଜଣାଥିବା ସମ୍ବନ୍ଧ ଫଳରେ E ଓ P ଘଟିପିବେ । ସମୀକରଣ (୧୧'୧୩)ରୁ ମିଳୁଥିବା କେତେକ ଅବକଳନ ହେଲା

$$\frac{\partial\psi}{\partial x}=\frac{i}{\hbar}P_x\psi \qquad (୧୧'୧୯a)$$

$$\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2}=-\frac{1}{\hbar^2}P_x^2\psi \qquad (୧୧'୧୯b)$$

$$\frac{\partial\psi}{\partial t}=-\frac{i}{\hbar}E\psi \qquad (୧୧'୧୯c)$$

ଯଦି ସମୀକରଣ (୧୧'୧୮)କୁ ψ ଦ୍ୱାରା ଗୁଣନ କରାଯାଏ, ତେବେ $p^2\psi/2m+P\psi=E\psi$ ମିଳିବ ଏବଂ ସମୀକରଣ (୧୧'୧୯ b, c) ବ୍ୟବହାର କଲେ

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2}+P\psi=-\frac{\hbar}{i}\frac{\partial\psi}{\partial t} \qquad (୧୧.୨୦)$$

ପାଇବା । ଏହି ସମୀକରଣ ଶ୍ରୁଡ଼ିଞ୍ଜର 1926 ମସିହାରେ ପାଇଥିଲେ ।

ସମୀକରଣ (୧୧'୨୦) ଶ୍ରୁଡ଼ିଞ୍ଜରଙ୍କର ବିଖ୍ୟାତ, ସମୟ ଅନ୍ତର୍ଭୁକ୍ତ ତରଙ୍ଗ ସମୀକରଣ । ଏହି ସମୀକରଣରୁ ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ ଫଳସବୁ ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ଫଳ ସଙ୍ଗେ ମିଳିଯାଉଛି । ଗୋଟିଏ *m* ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବିଶିଷ୍ଟ ବସ୍ତୁ କଣିକା ପାଇଁ ଆପେକ୍ଷିକ ପ୍ରଭାବ ଅବହେଳା କରାଯାଇ ପାରିବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଉକ୍ତ ସମୀକରଣ ଉପଯୋଗୀ ହେବ ବୋଲି ଆମର ଥିବା ବିଶ୍ୱାସ ଠିକ୍ ବୋଲି ଜଣାଯାଉଛି । ଏହି ସମୀକରଣରେ $i=\sqrt{-1}$ ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇଥିବାରୁ ଏହା ଗାଣିତିକ ଭୌତିକୀରେ ବ୍ୟବହୃତ ସମୀକରଣମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ । କଠିନ

ପଦାର୍ଥରେ ତାପର ପ୍ରବାହ ପାଇଁ ଏହିପରି ସମସ୍ତ ଉକ୍ତିକ ପ୍ରଥମ ଅବକଳନ ଅନ୍ତର୍ଭୁକ୍ତ ସମୀକରଣ ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇଥାଏ । କେବଳ ଏହି i ଉତ୍ପାଦନଟି ଛାଡ଼ିଦେଲେ ଏ ଦୁଇ ସମୀକରଣ ସମରୂପୀ । ପ୍ରକୃତପକ୍ଷେ କଠିନ ପଦାର୍ଥରେ ତାପ ପ୍ରବାହର କେତେକ ଲକ୍ଷଣ ସହିତ ଯାନ୍ତ୍ରିକ ବିଶୃଙ୍ଖଳାର ପ୍ରସାରର (ଯଥା—ଶବ୍ଦ ତରଙ୍ଗର) କେତେକ ଲକ୍ଷଣ ବସ୍ତୁ ତରଙ୍ଗରେ ମିଶିକରି ରହିଥାଏ ।

ଗୋଟିଏ ସମସ୍ୟାରେ ସମୀକରଣ (୧୧.୧୮)କୁ ସନ୍ତୁଷ୍ଟ କଲାପରି E, P_x ଓ Pର ଧ୍ରୁବ ମୂଲ୍ୟସବୁ ନିଆଯାଉ । ଏଥିପାଇଁ ସମୀକରଣ (୧୧.୨୦)କୁ ବିସ୍ତାର କରିବା । A ତରଂଗ ବିସ୍ତାର ପ୍ରକାଶ କରୁଥିବା ଏକ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ । ଯଦି $E>0$ ଓ $P<0$ ହୁଏ, ଏହି ସମୀକରଣର ସମାଧାନ ψର ସମତଳ ତରଙ୍ଗ ସବୁ $+x$ ଆଡ଼କୁ ଗତି କରୁଥିବା ବୁଝାଇବ, କାରଣ $\frac{E}{P_x}$ ଗତିବେଗରେ ଗତି କରୁଥିବା ଗୋଟିଏ ବିନ୍ଦୁ ପାଇଁ ψର ମୂଲ୍ୟ ଧ୍ରୁବ ରହିବ । E ଓ P_x ଯଥାକ୍ରମେ ଏହା ସହିତ ରହିଥିବା କଣିକାର ଶକ୍ତି ଓ ସଂବେଗ ବୁଝାଇବ । ତରଙ୍ଗଗୁଡ଼ିକର ଆବୃତ୍ତି ν ଓ ତରଂଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ λ $\nu=\frac{E}{h}$, $\lambda=\frac{h}{P_x}$ ବୋଲି ସହଜରେ ଜଣାଯାଉଛି । ଆଗରୁ ଆମେ ଏହି ସିଦ୍ଧାନ୍ତରେ ଉପନୀତ ହୋଇଥିଲେ । ଯଦି $P_x<0$ କିନ୍ତୁ $E>0$, କଣିକା ଓ ତରଙ୍ଗସବୁ x ଦିଗରେ ଗତି କରିବେ ।

P_x ପର୍ଯ୍ୟାପ୍ତ ପରିମାଣରେ ବିଯୁକ୍ତ ହେଲେ E ବିଯୁକ୍ତ ହେବ । ଯଦି E ବିଯୁକ୍ତ ହୁଏ, ତେବେ କଣିକା ଓ କଳା ତରଂଗସବୁ ପରସ୍ପରର ବିପରୀତ ଦିଗରେ ଗତି କରିବେ । ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି Pରେ ଥିବା ଧ୍ରୁବାଙ୍କକୁ ପରିବର୍ତ୍ତନ କରି ଆମେ ଇଚ୍ଛାକଲେ ସବୁବେଳେ ଏପରି ଅବସ୍ଥା ସୃଷ୍ଟି କରି ପାରିବା । ଏହିପରି କେବଳ ଗାଣିତିକ ପରିବର୍ତ୍ତନ କରି ବସ୍ତୁ ତରଙ୍ଗର ଗତିର ଦିଗ ଓଲଟାଇ ଦେବାର ସମ୍ଭାବନାରୁ ସ୍ପଷ୍ଟ ଜଣାଯାଉଛି ଯେ ଏଗୁଡ଼ିକ ତରଙ୍ଗ ନୁହନ୍ତି ।

ଯେତେବେଳେ ସ୍ଥିତଜ ଶକ୍ତି କେବଳ xର ଫଳନ ହୁଏ ଏବଂ ମୋଟ ଶକ୍ତି E ଧ୍ରୁବାଙ୍କ ହୁଏ, ଆମେ ଲେଖି ପାରିବା

$$\psi(x, t) = \psi(x) f(t) \qquad (୧୧.୨୧)$$

ଏହାକୁ (୧୧.୨୦) ସମୀକରଣରେ ବସାଅ । ପ୍ରତି ପଦକୁ $f(t)$ ଦ୍ୱାରା ଭାଗ କଲେ ଓ ସମୀକରଣ (୧୧.୧୯c)କୁ ବ୍ୟବହାର କଲେ, ଆମେ ପାଇବା

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2\psi}{dx^2} + P\psi = E\psi \qquad (୧୧.୨୨)$$

ଏହା ହିଁ ଏକଦିଶୀ ସମୟ ଅନପେକ୍ଷ ଶ୍ରୋଡ଼ିଙ୍ଗରଙ୍କ ସମୀକରଣ । ଏହାକୁ ଶ୍ରୋଡ଼ିଙ୍ଗରଙ୍କ ତରଙ୍ଗ ସମୀକରଣ ବୋଲି ମଧ୍ୟ କୁହାଯାଏ ।

ψ ତ୍ରିଦିଶ ଗତି ପାଇଁ x, y, z ଓ tର ଫଳନ ହେବ । ଏଠାରେ ଶ୍ରୋଡ଼ିଙ୍ଗରଙ୍କ ସମୀକରଣ ହେବ,

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\left(\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial y^2} + \frac{\partial^2\psi}{\partial z^2}\right) + P\psi = -\frac{\hbar\partial\psi}{i\partial t} \qquad (୧୧.୨୩)$$

ବା

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2\psi + P\psi = -\frac{\hbar}{i}\frac{\partial\psi}{\partial t} \qquad (୧୧.୨୩a)$$

ଏହା ସ୍ପଷ୍ଟ ଭାବରେ ଜଣାଯାଉଛି ଯେ, ଗତିଶୀଳ କଣିକାର ଶକ୍ତି ପାଇଁ ଥିବା ପୁରାତନ ହାମିଲ୍‌ଟୋନୀୟ ଉକ୍ତିରେ ଶକ୍ତି ଓ ସଂବେଗ ପାଇଁ ଉପଯୁକ୍ତ ଅବକଳନ ଅପରେଟର ମୂଲ୍ୟ ବସାଇଲେ ଶ୍ରୋଡ଼ିଙ୍ଗରଙ୍କ ସମୀକରଣ ମିଳିପାରିବ ।

ଉଦାହରଣସ୍ୱରୂପ, ସମୀକରଣ (୧୧.୧୯a)

$$P_x\psi = \frac{\hbar}{i}\frac{\partial\psi}{\partial x}$$

ରୂପରେ ଲେଖାଯାଇପାରିବ । ଏଥିରୁ ଆମେ P_x ଅପରେଟରକୁ

$$\hat{P}_x = \frac{\hbar}{i}\frac{\partial}{\partial x} \qquad (୧୧.୨୪a)$$

ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରି ଅତ୍ୟନ୍ତ ସଫଳ ହୋଇଥିବା ଗାଣିତିକ ପ୍ରଣାଳୀ ପାଇ ପାରିବା । ଏଠାରେ 'ଟୋପି'ଟି ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇଛି ଭୌତିକ ରାଶିଠାରୁ ଅପରେଟରକୁ ଚିହ୍ନାଇ ଦେବାପାଇଁ । ସେହିପରି ସମୀକରଣ (୧୧·୧୯c) ଏବଂ ଉକ୍ତ ଉଦାହରଣଟି ବିସ୍ତାରକୁ ନେଲେ ନିମ୍ନ ଅବକଳନ ଅପରେଟରଗୁଡ଼ିକ ମିଳିବ ।

$$\hat{P}_y = \frac{\hbar}{i}\frac{\partial}{\partial y} \qquad (୧୧·୨୪b)$$

$$\hat{P}_z = \frac{\hbar}{i}\frac{\partial}{\partial z} \qquad (୧୧·୨୪c)$$

$$\hat{E} = -\frac{\hbar}{i}\frac{\partial}{\partial t} \qquad (୧୧·୨୪d)$$

ହାମିଲ୍‌ଟୋନିୟ ଆକାରରେ କଣିକାର ମୋଟ ଶକ୍ତି ହେଲା

$$H = \frac{1}{2m}(P_x^2 + P_y^2 + P_z^2) + P = E \qquad (୧୧ ୨୫)$$

ଏଠାରେ H ହାମିଲ୍‌ଟନିଆନ ବୁଝାଉଛି ଓ P ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ବୁଝାଉଛି । ଆମେ ତେଣୁ

$$\hat{H} = -\frac{\hbar^2}{2m}\left(\frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}\right) + P \qquad (୧୧·୨୬)$$

ପାଇବା ଏବଂ ସମୀକରଣ (୧୧·୨୫) ଦ୍ୱାରା ψକୁ ଗୁଣନ କରିବା, ତେବେ H, P_x, E ପ୍ରଭୃତିଙ୍କ ସ୍ଥାନରେ ସେମାନଙ୍କର ଅପରେଟର ବସାଇ ଆମେ ପାଇବା

$$\hat{H}\psi = E\psi \text{ ବା } -\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2\psi + P\psi = -\frac{\hbar}{i}\frac{\partial\psi}{\partial t}$$

ଏହିପରି ଆମେ ଶ୍ରୁଡ଼ିଞ୍ଜରଙ୍କର ମୂଳ ଚିନ୍ତାଧାରାର ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ ଏକ ପ୍ରଣାଳୀ ଅବଲମ୍ବନ କରି ଶ୍ରୁଡ଼ିଞ୍ଜର ସମୀକରଣ ପାଇ

ଦ୍ୱାଦଶ ଅଧ୍ୟାୟ

ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକୀ

ମୁକ୍ତ ଅବସ୍ଥା

ପୁରାତନ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ସାହାଯ୍ୟରେ ସମାହିତ ହୋଇ ପାରୁ ନଥିବା ଅନେକ ସମସ୍ୟା ଆଧୁନିକ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ସମାଧାନ କରିଥାଉଛି । ଏହି ଉଦ୍ଦେଶ୍ୟ ପାଇଁ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଭାବରେ ଶ୍ରୁଡ଼ିଞ୍ଜରଙ୍କ ପ୍ରଣାଳୀ ଆବଶ୍ୟକ ହେବ । ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗତି ପାଇଁ ସରଳତମ ଏକ ଦିଶି ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ସମାଧାନର ବିସ୍ତୃତିରୁ ଆମେ ଆମର ଆଲୋଚନା ଆରମ୍ଭ କରିବା ।

12·1 କ୍ଷେତ୍ର-ମୁକ୍ତ ସ୍ଥାନରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ :

ଗୋଟିଏ ଅଞ୍ଚଳରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି P ଧ୍ରୁବ ହେଉ; ତେଣୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଉପରେ କୌଣସି ବଳ କାର୍ଯ୍ୟ କରୁନାହିଁ । ଗୋଟିଏ ଅପରିବର୍ତ୍ତିନୀୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ x ଦିଗରେ ଗତି କରୁ; ପ୍ରତ୍ୟେକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ସଂବେଗ P_x ଓ ମୋଟ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ $E = P_x^2/2m + P$ ହେଉ । ଏହି ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ପାଇଁ ଶ୍ରୁଡ଼ିଞ୍ଜର ତରଙ୍ଗ ସମୀକରଣ ହେଲା,

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2\psi}{dx^2} + P\psi = E\psi \qquad (୧୧·୬୬)$$

ଏଠାରେ ψ ହେଲା ତରଙ୍ଗ ଫଳନ; ଏହି ତରଙ୍ଗ ଫଳନର ଗୁଣ ଫଳରେ $\psi^*\psi dx$ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର x ଓ $x+dx$ ମଧ୍ୟରେ ମିଳିବାର ସମ୍ଭାବନା ବୁଝାଉଛି । ସମୀକରଣ (୧୧.୬୨)ରୁ ଆମେ ପାଇବା

$$\frac{d^2\psi}{dx^2}+\frac{2m\,(E-P)}{\hbar^2}\psi=0 \qquad (୧୬.୧)$$

ଏହାର ଏକ ସରଳ-ଆବର୍ତ୍ତୀ-ଗତିର ସମୀକରଣ, କାରଣ ψର ସହଗ ଗୋଟିଏ ଯୁକ୍ତ ଧ୍ରୁବ ସଂଖ୍ୟା । ସମୀକରଣ (୧୬.୧)ର ବ୍ୟାପକ ସମାଧାନ ହେଲା,

$$\psi=c_1\, exp\frac{i\sqrt{2m(E-P)}x}{\hbar}+c_2\, exp\left[\frac{-i\sqrt{2m(E-P)}x}{\hbar}\right]$$

(୧୬.୬)

ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ତରଙ୍ଗ ଫଳନ $\psi(x,t)=\psi(x)f(t)$ ସମୀକରଣ (୧୧.୧୧c) କୁ ସନ୍ତୁଷ୍ଟ କରେ, ଏଥିରୁ ମିଳେ

$$\frac{df(t)}{dt}=-\frac{i}{\hbar}Ef \qquad (୧୬.୩a)$$

ଏବଂ $$f(t)=c\,e^{-\frac{iEt}{\hbar}} \qquad (୧୬.୩b)$$

ତେଣୁ ଆମେ ପାଉ

$$\psi(x,t)=A\,exp\frac{i\left[\sqrt{2m(E-P)}x-Et\right]}{\hbar}$$
$$+B\,exp\left\{-\frac{i\left[\sqrt{2m(E-P)}x+Et\right]}{\hbar}\right\}$$

(୧୬.୪)

ଏହା ସମୀକରଣ (୧୧·୨୦)ର ବ୍ୟାପକ ସମାଧାନ । ଏଥିରୁ ସମୀକରଣ (୧୨·୪)ର ଦ୍ୱିତୀୟ ପଦ ଗୋଟିଏ ତରଙ୍ଗ ବାମ ଦଗକୁ ଗତ କରିବା ବୁଝାଉଛି, ମାତ୍ର ଆମେ ଅନୁମାନ କରିଥାଉଁ ଯେ ଆମର ରଶ୍ମି ଗୁଚ୍ଛଟି ψ ସଙ୍ଗେ ସଂଯୁକ୍ତ ହୋଇ $+x$ ଦଗରେ ଗତ କରୁଛୁ । ତେଣୁ $B=0$ ଏବଂ

$$\psi(x,t)=A\ exp\ \frac{i}{\hbar}[\sqrt{2m(E-P)}x-Et]$$

$$=Ae^{i(P_x x-Et)/\hbar}$$

$$=A\cos\frac{P_x x-Et}{\hbar}+iA\ \sin\frac{P_x x-Et}{\hbar}$$

(୧୨·୫)

[ଲକ୍ଷ୍ୟ କର ଯେ ଆମେ ସମୀକରଣ (୧୧·୧୩)କୁ ପୁନରୁଦ୍ଧାର କରୁଛୁ]

x ଓ $x+dx$ ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନକୁ ପାଇବାର ସମ୍ଭାବନା ସମୀକରଣ (୧୧·୧୫)ର ଏକ ଭଗ୍ନ ଆକାରରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇ ପାରେ

$$Pdx=\psi^*\psi\ dx=A^2dx \qquad (୧୨·୬)$$

ସମ୍ଭାବନା P, xର ଏକ ଫଳନ ନୁହେଁ—ଅପରିବର୍ତ୍ତୀୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ରଶ୍ମି ଗୁଚ୍ଛ ପାଇଁ ଏହିପରି ହେବ ବୋଲି ଆଶା କରାଯାଉଥିଲା । ଧ୍ରୁବ A ରଶ୍ମି ଗୁଚ୍ଛର ତୀବ୍ରତା ସହିତ ସଂଯୁକ୍ତ । ଯଦି ହାରାହାରି L ଦୈର୍ଘ୍ୟ ମଧ୍ୟରେ nଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଥାଏ, ଆମେ ଅବଶ୍ୟ $A^2=n/L$ ପାଇବା କାରଣ

$$\int_x^{x+L}\psi^*\psi dx=\int_x^{x+L}A^2dx=A^2L=n$$

12·7 ପାବନ୍ତ ପ୍ରତିରୋଧ :

ତାପରେ ଚିତ୍ର ୧୨·୧ର ବାମ ଦଗରୁ E ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ଅପରିବର୍ତ୍ତୀୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ରଶ୍ମି ଗୁଚ୍ଛ ଆସୁଥିବାର ବିଚାର କର । ମୂଳବିନ୍ଦୁର ବାମକୁ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି

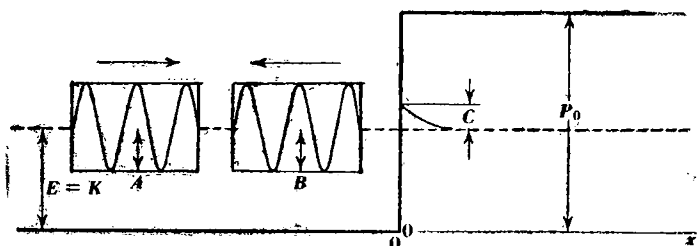
$P=0$ ହେଉ ଓ ତାହାଣକୁ $P=P_0$ ହେଉ । ପ୍ରକୃତରେ ଏପରି ଏକ ଆୟତାକାର ପ୍ରତିରୋଧ ଅବସ୍ଥାନ କରୁନାହିଁ; କିନ୍ତୁ ଗୋଟିଏ ସାଇକ୍ଲୋଟ୍ରୋନର ଡି-ମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ହଠାତ୍ ହେଉଥିବା ବିଭବ ବ୍ୟବଧାନ ବା ଗୋଟିଏ ଧାତୁର ପୃଷ୍ଠଦେଶର ବିଭବ ପ୍ରତିରୋଧ ସ୍ଥୂଳତଃ ଏହି ଧରଣର । ଏକ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ପାଇଁ $\psi(x, t)$ର ସମସ୍ତ ନିର୍ଭରଶୀଳତା x ଓ tରେ ସମସ୍ତ ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ ସମୀକରଣ (୧୨·୩b) ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୁଏ । ତେଣୁ ଆମର ସମସ୍ୟା ହେଲା ସ୍ଥାନୀୟ ତରଙ୍ଗ ଫଳନ $\psi(x)$ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରିବା—ଏହା ସମୀକରଣ (୧୧·୨୨)କୁ ନିଷ୍ପତ୍ତି ସନ୍ତୁଷ୍ଟ କରିବା ଦରକାର ।

ଅଞ୍ଚଳ ୧

$$-\frac{\hbar}{2m}\frac{d^2\psi}{dx^2}+0=E\psi \text{ ଯେତେବେଳେ } -\infty \geqslant x \geqslant \infty \qquad (୧୨·୭a)$$

ଅଞ୍ଚଳ 2

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2\psi}{dx^2}+P_0\psi=E\psi \text{ ଯେତେବେଳେ } 0\leq x\leq \infty \qquad (୧୨·b)$$



[ଚିତ୍ର ୧୨·୧ ଯେତେବେଳେ ଗତିଜ ଶକ୍ତି $K=E$ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ଗୋଟିଏ ଆଦର୍ଶ ବିଭବ ପ୍ରତିରୋଧ (ଏହାର ଉଚ୍ଚତା $P_0>E$) ଉପରେ ଆପତିତ ହୁଏ, ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛଟି ପ୍ରତିଫଳିତ ହୁଏ । ଆୟତକ୍ଷେତ୍ରଗୁଡ଼ିକ ମଧ୍ୟରେ ଆପତିତ ଓ ପ୍ରତିଫଳିତ ତରଙ୍ଗଗୁଡ଼ିକର ଛୋଟ ଛୋଟ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି]

ଅଞ୍ଚଳ ୧ ପାଇଁ ବ୍ୟାପକ ସମାଧାନ ହେଲା,

$$\psi_1 = A\ exp\frac{i\sqrt{2mEx}}{\hbar} + B\ exp\left(-\frac{i\sqrt{2mEx}}{\hbar}\right)$$

$$= Ae^{ik_1x} + Be^{-ik_1x}$$

ଏଠାରେ A ଓ B ଧ୍ରୁବ, ଏଗୁଡ଼ିକର ମୂଲ୍ୟ ନିରୂପଣ କରିବାକୁ ହେବ ଓ $k_1 = \sqrt{2mE/\hbar}$ । କାହାଣକୁ ଥିବା ପଦ, କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ବାମକୁ ଗତି କରିବା ବୁଝାଉଛି, ପ୍ରତିରୋଧଠାରେ ପ୍ରତିଫଳନ ଦ୍ୱାରା ଏହା ଉତ୍ପନ୍ନ । ଅଞ୍ଚଳ ୨ ପାଇଁ $(0 \geqslant x \geqslant \infty)$, $K = E - P_0$ର ମୂଲ୍ୟ ବିଯୁକ୍ତ ବା ଯୁକ୍ତ—ଏହି ଦୁଇ ପ୍ରକାର ମୂଲ୍ୟକୁ ନେଇ ଦୁଇଟି ଅବସ୍ଥା ମଧ୍ୟରେ ଆମେ ପାର୍ଥକ୍ୟ ଦେଖିବା । ଯଦି ଏହା ବିଯୁକ୍ତ ହୁଏ, ପୁରାତନ ଭୌତିକୀ ଅନୁସାରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ (ବା ଅନ୍ୟ କଣିକାଗୁଡ଼ିକ) ଅଞ୍ଚଳ ୨ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରବେଶ କରି ପାରିବେ ନାହିଁ; ମାତ୍ର ଯଦି $E - P_0 = K$ ଯୁକ୍ତ ହୁଏ, ପୁରାତନ ଭୌତିକୀ ଅନୁସାରେ ସବୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସେ ଅଞ୍ଚଳରେ ପ୍ରବେଶ କରିବେ ଓ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟରେ ଅତିକ୍ରମ କରି ଚାଲିଯିବେ । ତରଙ୍ଗ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଭିନ୍ନ ଫଳ ଦେଇଥାଏ ।

ପ୍ରଥମ ଘଟଣା—

$E - P_0 < 0$ । ଯଦି E ଅପେକ୍ଷା P_0 ଅଧିକ ହୁଏ, ଗତିଜ ଶକ୍ତି K ବିଯୁକ୍ତ ହେବ । ହେଲେ ବି, ଅଞ୍ଚଳ ୨ରେ ψ ଶୂନ୍ୟ ହେବନାହିଁ—ଏହା ସମୀକରଣ (୧୨.୨b)ର ସମାଧାନରୁ ମିଳିବ. ଏହି ସମାଧାନ ହେଲା

$$\psi_2 = c\ exp\left[-\frac{\sqrt{2m(P_0 - E)}x}{\hbar}\right] + D exp\frac{\sqrt{2m(P_0 - E)}x}{\hbar}$$

$$= ce^{-\alpha x} + De^{\alpha x} \qquad (୧୨.୯)$$

ଏଠାରେ C ଓ D ଧ୍ରୁବ, ଏଗୁଡ଼ିକର ମୂଲ୍ୟ ନିରୂପଣ କରିବାକୁ ହେବ ଓ $\alpha = \sqrt{2m(P_0 - E)}/\hbar$ ।

ତାପରେ ଆମେ ψ ଓ ତା'ର ଅବକଳନାଙ୍କଠାରୁ ଦୁଇଟି ଆବଶ୍ୟକତା ଆଣା କରିବା—ତରଙ୍ଗ ଫଳନଟି ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଭୌତିକ ଘଟଣା ବୁଝାଇବାପାଇଁ $\psi^*\psi$ dxର ମୂଲ୍ୟ ବା ସମ୍ଭାବନା ସସୀମ ଓ ଏକମାନ ବିଶିଷ୍ଟ ହେବା ଦରକାର ଏବଂ ଉକ୍ତ ଦୁଇଟି ଆବଶ୍ୟକତା ଏହି ସର୍ତ୍ତ ପୂରଣ କରିବ । ସେହି ଦୁଇ ଆବଶ୍ୟକତା ହେଲା,

୧ । ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ψ ହେବ ସସୀମ, ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ଓ ଏକ-ମାନ ବିଶିଷ୍ଟ ।

୨ । ψର ପ୍ରଥମ ଅବକଳନ (ବା କେତେକ ବିମିତ ଥିଲେ ଗ୍ରାଡିଏଣ୍ଟ) ହେବ ସସୀମ, ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ଓ ଏକକ-ବିଶିଷ୍ଟ—ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି P ଯେଉଁଠାରେ ସସୀମ, ସେଠାରେ ସବୁ ବିନ୍ଦୁରେ ଏହି ସର୍ତ୍ତ ପୂରଣ ହେବା ଦରକାର, ଯଦି କେଉଁଠାରେ P ଅସୀମ ହୁଏ, ସସୀମ Pରୁ ଆରମ୍ଭ କରି ଓ ଲିମିଟ୍‌ରେ Pକୁ ଅସୀମ ନେଇ ସୀମାସର୍ତ୍ତ ବାହାର କରିବାକୁ ହେବ ।

ψ ସସୀମ ହେବା ଆବଶ୍ୟକତାରୁ $D=0$ ହେବ ବୋଲି ଜଣାଯାଉଛି: ଯଦି ତା ନହୁଏ, x କୌଣସି ଲିମିଟ ନ ଥାଇ ବଢ଼ିଗଲେ ψ_2 ଅସୀମ ହୋଇଯିବ । ψ ସବୁଠାରେ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ହେବା ସର୍ତ୍ତରୁ $x=0$ ପରେ

$$A+B=C \qquad (୧୨\cdot୧୦)$$

ହେବ ବୋଲି ଜଣାଯାଉଅଛି । ଆଉ ମଧ୍ୟ $x=0$ ଠାରେ

$\frac{d\psi}{dx}$ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ହେବା ସର୍ତ୍ତରୁ

$$i\,k_1\,(A-B)=-\alpha C \qquad (୧୨\cdot୧୧)$$

ହେବ । ସମୀକରଣ (୧୨·୧୦) ଓ (୧୨·୧୧)ରୁ B ଓ Cକୁ Aରେ ପ୍ରକାଶ କରିହେବ । ପ୍ରତିଫଳନ ତରଙ୍ଗର ବିସ୍ତାର B ଆପତିତ ତରଙ୍ଗର ବିସ୍ତାର A ସହ

$$B=\frac{k_1-i\alpha}{k_1+i\alpha}\,A \qquad (୧୨\cdot୧୨)$$

ଦ୍ୱାରା ସମ୍ପୃକ୍ତ ଓ

$$C=\frac{2k}{k_1+i\alpha}\,A; \qquad (୧୨\cdot୧୩)$$

, ଯେଉଁ ତରଙ୍ଗ ଅଞ୍ଚଳ ୨ରେ ପ୍ରବେଶ କରେ ତାହା ଚରଘାତାଙ୍କ ସ୍ୱବରେ ମନ୍ଦତ ହୁଏ । (ଚିତ୍ର ୧୨.୧); ମାତ୍ର ସ୍ୱାଗତ ମତାନୁସାରେ ନିଷିଦ୍ଧ ଅଞ୍ଚଳରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ-ଗୁଡ଼ିକୁ ପାଇବାର ସସୀମ ସମ୍ଭାବନା ରହନ୍ତି, ସେଠାରେ ସର୍ବଦା କଣିକା ମିଳୁନାହାନ୍ତି । ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ଅପତନ୍ତ ସମସ୍ତ କଣିକା ଶେଷରେ ପ୍ରତିଫଳିତ ହେଉଛନ୍ତି । ଏହା ଠିକ୍ ବୋଲି ଜାଣିବାପାଇଁ ଜଟିଳ ରାଶିଗୁଡ଼ିକୁ ପୋଲାର ଆକାରରେ ଲେଖିଲେ ସୁବିଧା ହେବ ।

$\rho^2 = k^2 + \alpha^2$ ନେଇ $k_1 \pm i\alpha = \rho e^{\pm i\delta}$ ବୋଲି ଲେଖିବା, ଏଠାରେ

$\tan\delta = \dfrac{\alpha}{k_1}$; ତେବେ ସମୀକରଣ (୧୨.୧୨) ହେବ,

$$B = \frac{\rho e^{-i\rho}}{\rho e^{i\rho}} A = e^{-2i\delta} A \qquad (୧୨.୧୨a)$$

ଏଠାରେ $\delta = \tan^{-1}\left[(P_0 - E)/E\right]^{\frac{1}{2}}$

ସମୀକରଣ (୧୨.୧୨a)କୁ (୧୨.୮)ରେ ବସାଇଲେ

$$\psi_1 = A\left(e^{ik_1x} + e^{-2i\rho} e^{-ik_1x}\right)$$

$$= Ae^{-i\delta} \cos\left(\frac{\sqrt{2mEx}}{\hbar} + \delta\right) \qquad (୧୨.୧୩a)$$

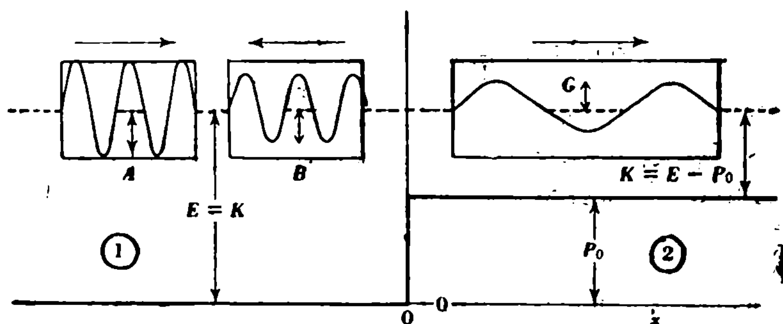
ଏହା ଗୋଟିଏ ସ୍ଥିର ତରଙ୍ଗ ବୁଝାଉଛି, ଏଥିରେ ବାମକୁ ଓ ଡାହାଣକୁ ସମାନ ସଂଖ୍ୟକ କଣିକା ଗତି କରୁଛନ୍ତି । ଗୋଟିଏ ଧାତବ ପୃଷ୍ଠ ଦେଶରେ ବର୍ତ୍ତୁଳଚୁମ୍ବକ ତରଙ୍ଗ ସ୍ୱୀକୃତ ମତାନୁସାରେ ଠିକ୍ ଏହିପରି ଗୁଣ ଦେଖାଇଥାଏ ।

୨ୟ ଘଟଣା :

$E - P_0 > 0$ । ଯେତେବେଳେ ମୋଟ ଶକ୍ତି ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତିଠାରୁ ଅଧିକ ହୋଇଥାଏ (ଚିତ୍ର ୧୨.୨), ଗତିଜ ଶକ୍ତି k ଯୁକ୍ତ ହୁଏ ଓ ପୁରାତନ ମତାନୁସାରେ ଅଞ୍ଚଳ ୨ରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନେ ପ୍ରବେଶ କରି ପାରିବେ । ଏହି ଅବସ୍ଥାରେ ସମୀକରଣ (୧୨.୨b)ର ବ୍ୟାପକ ସମାଧାନ ହେବ,

$$\psi_2 = Ge^{ik_2x} + He^{-ik_2x} \qquad (୧୬·୧୪)$$

ଏଠାରେ $k_2 = \sqrt{2m(E - P_0}/\hbar$ । ଏଠାରେ ପ୍ରଥମ ପଦ ଡାହାଣକୁ ଗତି କରୁଥିବା ଗୋଟିଏ ତରଙ୍ଗ ବୁଝାଉଛି ଓ ଦ୍ୱିତୀୟ ପଦ ବାମକୁ ଗତି କରୁଥିବା ଗୋଟିଏ ତରଙ୍ଗ ବୁଝାଉଛି । ଯେହେତୁ ଆମେ ଅନୁମାନ କରୁଛୁ ଯେ, କେବଳ ବାମରୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରଥମରୁ ଆପତିତ ହୋଇଛନ୍ତି, ଅତେବ $H = 0$ ନେବା ।



[ଚିତ୍ର ୧୬·୨ ଗତିଜ ଶକ୍ତି $K = E$ ବିଶିଷ୍ଟ ଏକ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ଗୋଟିଏ ଆଦର୍ଶ ବିଭବ ପ୍ରତିରୋଧରେ ଆପତିତ ହେଉ । ଏହି ପ୍ରତିରୋଧର ଉଚ୍ଚତା $P_0 < E$ । ରଶ୍ମିରୁ ଏକ ଅଂଶ ପ୍ରତିଫଳିତ ଓ ଅନ୍ୟ ଏକ ଅଂଶ ସଞ୍ଚରିତ ହେଉ । ଅସୁବିଧାଗୁଡ଼ିକରେ ଆପତିତ, ପ୍ରତିଫଳିତ ଓ ସଞ୍ଚରିତ ତରଙ୍ଗଗୁଡ଼ିକର ପ୍ରକୃତ ଅଂଶଗୁଡ଼ିକ ଛୁଦ୍ରପ୍ରଛେଦ ସବୁ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି]

$x = 0$ ଠାରେ ψ ଓ ଏହାର ଅବକଳନସବୁ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ହେବ, ଏହି ଅବଶ୍ୟକତାଗୁଡ଼ିକରୁ ମିଳିବ,

$$A + B = G \qquad (୧୬·୧୫a)$$

$$k_1A - k_1B = k_2G \qquad (୧୬·୧୫b)$$

ଏଥିରୁ ପ୍ରତିଫଳିତ ଓ ସଞ୍ଚରିତ ତରଙ୍ଗମାନଙ୍କର ବିସ୍ତାର ଆପତନ ତରଙ୍ଗର ବିସ୍ତାରରେ ନିମ୍ନମତେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରିବ ।

$$B=\frac{k_1-k_2}{k_1+k_2}A \qquad (୧୨.୧୬)$$

$$ଓ\ C=\frac{2k_1}{k_1+k_2}A \qquad (୧୨.୧୭)$$

ପ୍ରତି ଏକକ ଦୈର୍ଘ୍ୟରେ ପ୍ରତିଫଳିତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା B^2କୁ ଅନୁପାତୀ (ଅନୁ:୧୧.୭) ଓ ଆପତିତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କରୁ ଅନୁରୂପ ସଂଖ୍ୟା A^2କୁ ଅନୁପାତୀ । ତେଣୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ଯେଉଁ ଭଗ୍ନାଂଶ ପ୍ରତିଫଳିତ ହୁଏ ବା ପ୍ରତିଫଳନାଙ୍କ R ହେବ,

$$R=\frac{|B^2|}{|A^2|}=\frac{(k_1-k_2)^2}{(k_1+k_2)^2} \qquad (୧୨.୧୮)$$

P, ବସ୍ତୁକୁ ନହୋଇ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଅଞ୍ଚଳ 1 ମଧ୍ୟକୁ ସ୍ଥାନାନ୍ତରିତ ହେଲେ ମଧ୍ୟ ପ୍ରତିଫଳନାଙ୍କ ପାବଚ୍ଛର ଆକାର ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ବଢ଼େ । ଏ ଅବସ୍ଥା ଆଲୋକ ବିଜ୍ଞାନ ସହିତ ସିଧାସଳଖ ଖାପ ଖାଏ; ଆଲୋକ ଦ୍ୱିତୀୟ ମାଧ୍ୟମ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରବେଶ କଲାବେଳେ ଏହାର ଗତି ବଢ଼ୁ ବା କମୁ, ଦୁଇ ମାଧ୍ୟମର ସାଧାରଣ ତଳଠାରେ (ଯେଉଁଠାରେ ଆଲୋକ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ଗୁଣ ବଦଳିଯାଏ) ଲମ୍ବ ଭାବରେ ଆପତିତ ପ୍ରତି ରଶ୍ମି ପାଇଁ ଏକ ପ୍ରତିଫଳିତ ରଶ୍ମି ରହିଥାଏ । [ପ୍ରକୃତରେ ଯଦି $k_1=2\pi/\lambda_1$ ପ୍ରଥମ ମାଧ୍ୟମରେ ଆଲୋକ ପାଇଁ ଓ $k_2=2\pi/\lambda_2$ ହୁଏ, ସମୀକରଣ (୧୨.୧୮) ଦୁଇଟି ସ୍ୱଚ୍ଛ ମାଧ୍ୟମର ସାଧାରଣ ତଳରେ ଲମ୍ବ ଭାବରେ ଆପତିତ ଆଲୋକ ପାଇଁ ପ୍ରତିଫଳନାଙ୍କ ଦେବ] ।

ଆପତିତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ଯେଉଁ ଭଗ୍ନାଂଶ ପ୍ରତିରୋଧ ମଧ୍ୟ ଦେଇ ସଞ୍ଚରିତ ହୁଏ, ତାକୁ ସଞ୍ଚରଣାଙ୍କ T କୁହାଯାଏ । ଯେଉଁ ଦୁଇ ଅଞ୍ଚଳରେ କଣିକାମାନଙ୍କର ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ଗତିବେଗ ଥାଏ, ସେହି ଦୁଇ ଅଞ୍ଚଳରେ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛର ତୀବ୍ରତା ତୁଳନା କରିବା ପାଇଁ ଆମେ ମନେ ରଖିବା ଦରକାର ଯେ, ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛର ତୀବ୍ରତା ହେଲା ଏକକ କ୍ଷେତ୍ରକୁ

ଏକକ ସମୟରେ ଅତିକ୍ରମ କରୁଥିବା କଣିକାମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ଏବଂ ଏଥିରେ କଣିକାର ଗତିବେଗ ହିଁ ଏକକ ଘନରେ ଥିବା କଣିକାମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟାର ଗୁଣଫଳ ରହିଅଛି । ଅଣଆପେକ୍ଷିକ ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକରେ କଣିକାର ଗତିବେଗ ହେଲା $\sqrt{\frac{2k}{m}}$ । ତେଣୁ ଏସବୁ କ୍ଷେତ୍ରରେ

$$T=\sqrt{\frac{E-P_o}{E}}\ \frac{|G^2|}{|A^2|}=\frac{k_2}{k_1}\cdot\frac{4k_1^2}{(k_1+k_2)^2}$$

$$=\frac{4k_1k_2}{(k_1+k_2)^2} \qquad (୧୨.୧୯)$$

ଅବଶ୍ୟ, କଣିକାଗୁଡ଼ିକର ସଂରକ୍ଷଣ ଫଳରେ $T+R=1$ ସତ୍ୟ ହେବ ।

12·3 ପ୍ରତିରୋଧ ଭେଦ :

କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଭୌତିକୀରେ ଯେଉଁ ଅଞ୍ଚଳରେ ମୋଟ ଶକ୍ତି E ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି P ଠାରୁ କମ୍, ସେ ଅଞ୍ଚଳକୁ କଣିକା ଭେଦ କରିପିବାର ସମ୍ଭାବନା ରହିଅଛି । ତେଣୁ ପ୍ରତିରୋଧ ପାତଳ ହୋଇଥିଲେ କଣିକାସବୁ ଏଥିରେ ବାହାର କରି ବୁଲିଯିବେ, ଏହି ପ୍ରତିରୋଧ ପୁରାତନ ଭୌତିକୀ ଅନୁସାରେ ଅଭେଦ୍ୟ ଥିଲା । ମନେକର ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ P_o ଉଚ୍ଚତା ଓ w ପ୍ରସ୍ଥ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ଆୟତାକାର ପ୍ରତିରୋଧରେ ବାମପଟୁ ଆପତିତ ହେଲା (ଚିତ୍ର ୧୨·୩) ।

ଯେହେତୁ ଅଞ୍ଚଳ ୧ ଓ ୩ରେ $P=0$ ତେଣୁ ଅଞ୍ଚଳପାଇଁ ଶ୍ରୁଡ଼ିଞ୍ଜର ତରଙ୍ଗ ସମୀକରଣ ହେବ ସମୀକରଣ ହେବ ସମୀକରଣ (୧୨.୭a) ଓ ଅଞ୍ଚଳ ୨ ପାଇଁ ଏହି ସମୀକରଣ (୧୨·୭b) । ଆମେ ଯେପରି ପୂର୍ବ ଅନୁଚ୍ଛେଦରେ ଦେଖିଆଇଁ, ଧ୍ରୁବ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଅଞ୍ଚଳରେ E>P (ଗତିଜ ଶକ୍ତି ଯୁକ୍ତ) ହେଲେ ସମାଧାନ ହେବ Sinusoidal ଓ $E<P$ (K ବିଯୁକ୍ତ) ହେଲେ ଚରଘାତାଙ୍କୀ । ବ୍ୟାପକ ସମାଧାନଗୁଡ଼ିକ ହେଲା,

ଅଞ୍ଚଳ—୧ : $-\infty<x<0$

$$\psi_1=A\,exp\frac{i\sqrt{2mE}\ x}{\hbar}+B\,exp\left(\frac{-i\sqrt{2mE}x}{\hbar}\right) \qquad (୧୨·୨୦a)$$

ଅଞ୍ଚଳ ୨ :

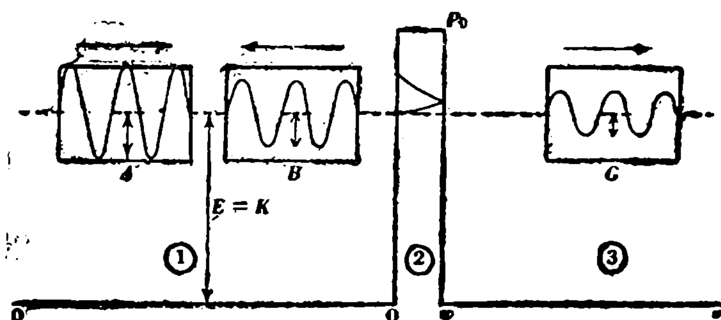
$0 \leq x \leq w$

$$\psi_2 = C exp \frac{\sqrt{2m(P_0 - E)}x}{\hbar} + D\, exp\left[\frac{-\sqrt{2m(P_0 - E)}x}{\hbar}\right] \qquad (୧୨·୨୦b)$$

ଅଞ୍ଚଳ ୩ :

$w \leq x \leq \infty$

$$\psi_3 = G exp \frac{i\sqrt{2mE}x}{\hbar} + H exp\left(\frac{-i\sqrt{2mE}x}{\hbar}\right) \qquad (୧୨·୨୦c)$$



[ଚିତ୍ର ୧୨·୩ ଗତିଜ ଶକ୍ତି $K = E$ ବିଶିଷ୍ଟ ଏକ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ଗୋଟିଏ ଯାତଳ ଆଦର୍ଶ ବିଭବ ପ୍ରତିରୋଧରେ ଆପତିତ ହେଉଛି । ଏହି ପ୍ରତିରୋଧର ଉଚ୍ଚତା $P_0 > E$ ଗୋଟିଏ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ପ୍ରତିରୋଧ ମଧ୍ୟଦେଇ ସଞ୍ଚରିତ ହେବ । ଆପତିତ ପ୍ରତିଫଳିତ ଓ ସଞ୍ଚରିତ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛମାନଙ୍କର ପ୍ରକୃତ ଅଂଶଗୁଡ଼ିକର କ୍ଷୁଦ୍ର ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦସବୁ ଆୟତାକାର କ୍ଷେତ୍ରମାନଙ୍କ ସାହାଯ୍ୟରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି ।]

ଆମେ ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ $H=0$ ନେଇପିବା, କାରଣ କୌଣସି କଣିକା ଡାହାଣପଟୁ ଆସୁନାହାନ୍ତି । କିନ୍ତୁ B ଓ C ଶୂନ୍ୟ ନୁହନ୍ତି, କାରଣ ଉଭୟ ପୃଷ୍ଠତଳରେ ଆମେ ପ୍ରତିଫଳନ ପାଉଥାଉଁ । ଯଦି ଆମେ $k_1=\sqrt{2mE}/\hbar$ ଓ $\alpha=\sqrt{2m(P_0-E)}/\hbar$ ନେବା, $x=0$ ଓ $x=w$ଠାରେ ψ ଓ ଏହାର ସମସ୍ତ ଅବକଳନ ଶୂନ୍ୟ ହେବ, ଏହି ସର୍ତ୍ତକୁ ବ୍ୟବହାର କରି ନିମ୍ନ ଗୁଣଗୋଟି ସମୀକରଣ ପାଇବା :

$$A+B=C+D \tag{୧୬·୬୧a}$$

$$ik_1A-ik_1B=\alpha C-\alpha D \tag{୧୬·୬୧b}$$

$$Ce^{\alpha w}+De^{-\alpha w}=Ge^{ik_1w} \tag{୧୬·୬୧c}$$

$$\alpha Ce^{\alpha w}-\alpha De^{-\alpha w}=ik_1Ge^{ik_1w} \tag{୧୬·୬୧b}$$

ସମୀକରଣ (୧୬·୬୧)ର A ପାଇଁ G ସାହାଯ୍ୟରେ ସମାଧାନ ହେବ,

$$A=Ge^{ik_1w}\left[\cosh\alpha w+\frac{i}{2}\left(\frac{\alpha}{k_1}-\frac{k_1}{\alpha}\right)\text{Sin }h\alpha w\right] \tag{୧୬·୬୬}$$

ସଞ୍ଚରଣାଙ୍କ $T=|G^2|/|A^2|$ ବା

$$\frac{1}{T}=\frac{|A^2|}{|G^2|}=1+\frac{1}{4}\left(\frac{\alpha}{k_1}+\frac{k_1}{\alpha}\right)\text{Sin }h^2\,\alpha w$$

$$=1+\frac{P_0^2}{4E(P_0-E)}\text{Sin }h^2\,\frac{\sqrt{2m(P_0-E)}\,w}{\hbar} \tag{୧୬·୬୬a}$$

ହାଇପରବୋଲୀୟ ସାଇନ ଏହାର ଆର୍ଗୁମେଣ୍ଟର ବୃଦ୍ଧି ସହ ଅତି ଦ୍ରୁତବେଗରେ ବଢ଼ି ଯାଉଥିବାରୁ, ସଞ୍ଚରଣାଙ୍କ T ଅନୁରୂପ ଭାବରେ w ସହିତ କମିଯାଏ । ସଞ୍ଚରଣାଙ୍କର ପ୍ରତିରୋଧର ଉଚ୍ଚତା ଉପରେ କ୍ଷିପ୍ର ନିର୍ଭରଶୀଳତା ମଧ୍ୟ ଅନ୍ୟତମ ପ୍ରଧାନ କଥା ଅଟେ ।

12·4 "ବର୍ଗ" କୂପ : ମୁକ୍ତ ଅବସ୍ଥା :

ଚିତ୍ର ୧୨·୩aରେ ଦିଆଥିବା ପ୍ରତିରୋଧ ସ୍ଥାନରେ ଗୋଟିଏ କୂପ ନେବା (ଚିତ୍ର ୧୨·୪) ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତିର ଶୂନ୍ୟକୁ କୂପର ନିମ୍ନଦେଶରେ ନେବା ସୁବିଧା ଦୃଷ୍ଟିରୁ ଠିକ୍ ହେବ ବୋଲି ନିଆଯାଇଅଛି; $-\infty < x < 0$ ପାଇଁ (ଅଞ୍ଚଳ ୧) ଓ $w < x < \infty$ ପାଇଁ (ଅଞ୍ଚଳ ୩) $P = P_0$; $0 > x > w$ (ଅଞ୍ଚଳ ୨) ପାଇଁ $P = 0$ । ଆମେ ପୁଣି ସ୍ରୋଡ଼ିଙ୍ଗରଙ୍କ ତରଙ୍ଗ ସମୀକରଣଠାରୁ ଆରମ୍ଭ କରିବା ।

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2\psi}{dx^2} + P\psi = \qquad (୧୧·୨୨)$$

ଏଥିପାଇଁ ତିନି ଅଞ୍ଚଳରେ ବ୍ୟାପକ ସମାଧାନ ହେବ,

$$\psi_1 = A\,exp\frac{i\sqrt{2m(E-P_0)}x}{\hbar} + B\,exp\left[\frac{-\sqrt{2m(E-P_0)}x}{\hbar}\right]$$

$$= e^{ik_1x} + Be^{-ik_1x}$$

ଅଞ୍ଚଳ ୨ :

$$\psi_2 = C\,exp\frac{i\sqrt{2mE}x}{\hbar} + D\,exp\left(-\frac{i\sqrt{2mE}x}{\hbar}\right)$$

$$= Ce^{ik_2x} + De^{-ik_2x}$$

ଅଞ୍ଚଳ ୩ :

$$\psi_3 = G\,exp\frac{i\sqrt{2m(E-P_0)}x}{\hbar} + H\,exp\left[\frac{-i\sqrt{2m(E-P_0)}x}{\hbar}\right]$$

$$= Ge^{ik_1x} + He^{-ik_1}$$

ଯଦି ଗୋଟିଏ କଣିକା ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ବାମରୁ ଆପତିତ ହୁଏ ଓ ଡାହାଣରୁ ଗୋଟିଏ ହେଉନଥିବ, $H=0$ । ψ ଓ ଏହାର ସମସ୍ତ ଅବକଳନ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ହେବା ଦୃଷ୍ଟିରୁ ସୀମା $x=0$ ଓ $x=w$ଠାରେ ମିଳିବ,

$$A+B+C+D \qquad (୧୬.୨୩a)$$

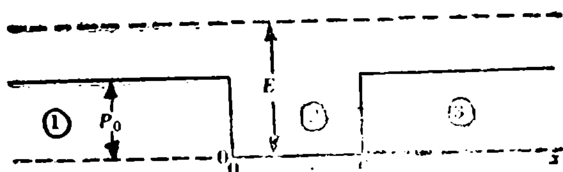
$$ik_1A-ik_1B=ik_2C-ik_2D \qquad (୧୬.୨୩b)$$

$$Ce^{ik_2w}+De^{-ik_2w}=Ge^{ik_1w} \qquad (୧୬.୨୩c)$$

$$ik_2ce^{ik_2w}-ik_2De^{-ik_2w} \qquad (୧୬.୨୩d)$$

ଏହି ଚାରିଗୋଟି ସମୀକରଣରୁ ଆମେ ପାଇବା

$$A=Ge^{ik_1w}\left[\cos k_2-\frac{i}{2}\left(\frac{k_1}{k_2}+\frac{k_2}{k_1}\right)\text{Sin}\,k_2w\right] \qquad (୧୬.୨୪)$$



[ଚିତ୍ର ୧୬.୪ P_o ଗଭୀରତା ଓ w ପ୍ରସ୍ଥ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ବର୍ଗକୂପ]

ସଞ୍ଚରଣାଙ୍କ T କ୍ରମନ୍ତେ ମିଳିପାରିବ,

$$\frac{1}{T}=\frac{|A^2|}{|G^2|}=1+\frac{1}{4}\left(\frac{k_1}{k_2}-\frac{k_2}{k_1}\right)^2\text{Sin}^2k_2w$$

$$=1+\frac{1}{4}\frac{P_o^2}{E(E-P_o)}\text{Sin}\,\frac{\sqrt{2wE}}{\hbar}w \qquad (୧୬.୨୫)$$

ସମୀକରଣ (୧୬.୨୫)ରୁ ସଞ୍ଚରଣାଙ୍କ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଗୋଟିଏ ଆକର୍ଷଣୀୟ ଗୁଣ ଦେଖାଯାଉଅଛି । ଶକ୍ତି Eର ବୃଦ୍ଧି ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ସଞ୍ଚରଣାଙ୍କ ବଢ଼ିବ ଓ କମିବ; ଯେତେବେଳେ ସାଇନର ଆର୍ଗୁମେଣ୍ଟ πର ଏକ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟକ ଗୁଣ ହେବ, ସେତେବେଳେ ଏକ ହେବ ।

ଏହି ଫଳ ରାମସରର ପ୍ରଭାବକୁ ଗୁଣାତ୍ମକ ଭାବରେ ବୁଝାଇବାର ସୁଯୋଗ ଆମକୁ ଦେବ । ଏହି ପ୍ରଭାବ 1920 ମସିହାରେ ଆବିଷ୍କୃତ ହୋଇଥିଲା ଓ ପୁରାତନ ଭୌତିକୀ ଅନୁସାରେ ଏହାକୁ ବୁଝାଇବା ସମ୍ଭବ ହୋଇନଥିଲା । ରାମସର ଦେଖିଥିଲେ ଯେ, ସ୍ୱ

ସେତେବେଳେ ଆର୍ଗନ, କ୍ରିପ୍ଟନ ଓ ଜେନନ୍ ପରି କେତେକ ନୋବଲ ଗ୍ୟାସ ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ଏକଶକ୍ତିବିଶିଷ୍ଟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ଚଳାଇଲେ, ସେତେବେଳେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର 1ରୁ $2eV$ ଶକ୍ତିବେଳେ କୌଣସି ବିଚ୍ଛୁରଣ ହେଉନାହିଁ, କିନ୍ତୁ ଏହାଠାରୁ କମ୍ ବା ଅଧିକ ଶକ୍ତି ପାଇଁ ଏହା ଅତ୍ୟଧିକ ହୋଇଥିଲା । ଅବଶ୍ୟ, ଆର୍ଗନ ପରମାଣୁ ଗୋଟିଏ ବର୍ଗକୂପ ବିଭବ ଦ୍ୱାରା ମୋଟାମୋଟି ଭାବରେ ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ, କିନ୍ତୁ ଯେତେବେଳେ ଆପତିତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପରମାଣୁ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରବେଶ କରେ, ସେତେବେଳେ ଏକ ଆକର୍ଷଣୀୟ ବିଭବ ପାଇଥାଏ, କାରଣ ବାହାର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସବୁ ଆଉ ନିଉକ୍ଲିୟସକୁ ଘୋଡ଼ାଇ ରଖାଇ ନଥାନ୍ତି । 2 ଭୋଲ୍ଟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଆର୍ଗନ ପରମାଣୁ ପ୍ରାୟ ସ୍ୱଚ୍ଛ, କାରଣ ସମୀକରଣ (୧୨·୨୫)ର ଅନୁରୂପ ସମୀକରଣ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ସଞ୍ଚରଣାଙ୍କ ସେହି E ପାଇଁ ଏକର ପାଖାପାଖି ହୋଇଥାଏ ।

ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ψ ଓ ଏହାର ଅବକଳନ $\dfrac{d\psi}{dx}$ ଉଭୟ, $x=0$ ଓ $x=w$ ଉଭୟଠାରେ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ହେବେ । ଏହି ସର୍ତ୍ତରୁ Tର ପରିବର୍ତ୍ତନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ କିଛି ଧାରଣା କରିହେବ । E ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହେବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ କୂପ ମଧ୍ୟରେ ଓ ବାହାରେ, ଉଭୟଠାରେ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହେବ । କେବଳ ଯଦି କୂପର ପ୍ରସ୍ଥ, ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ସହିତ ଠିକ୍ ଭାବରେ ସଂଯୁକ୍ତ ହୋଇଥାଏ, ଅଞ୍ଚଳ ୩ରେ ଥିବା ତରଙ୍ଗର ବିସ୍ତାର ଅଞ୍ଚଳ ୧ରେ ଥିବା ତରଙ୍ଗର ବିସ୍ତାର ସହ ସମାନ ହେବ ।

12·5 ତରଙ୍ଗ ଅଳି ଓ ସଂବେଗର ପ୍ରତୀକ :

ଏପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଆମେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପରି କଣିକାଗୁଡ଼ିକର ଅପରିବର୍ତ୍ତନୀୟ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ବିଷୟରେ ବିଚାର କରୁଥାଉଁ । ଆମେ ବର୍ତ୍ତମାନ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପ୍ରତି ଦୃଷ୍ଟି ପକାଇବା, ଏହା ମୋଟାମୋଟି ଗୋଟିଏ ସ୍ଥାନୀକୃତ ବସ୍ତୁବିଶେଷରୂପେ ଗୃହୀତ ହୋଇପାରେ । ମନେକର $t=0$ ସମୟରେ ଅନ୍ୟ କାହାରି ସହିତ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାରତ ହୋଇ ନଥିବା ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ $x=x_0$ ଠାରେ ରହିଅଛି; x ଓ $x+dx$ ମଧ୍ୟରେ ଏହାକୁ ପାଇବାର ସମ୍ଭାବନା Pdx ଚିତ୍ର ୧୨·୫ରେ ଦର୍ଶାଇ ଦିଆଯାଇଥିବା ଫଳନ ପରି କୌଣସି ଏକ ଫଳନରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରୁଅଛି । ଦର୍ଶାଇ ଦିଆଯାଇଥିବା ରେଖା ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ତରଙ୍ଗ

ଫଳନ

$$\psi(x\ 0) = A e^{-(x-x_0)^2/2a^2}\ e^{ip_0x/\hbar} \qquad (୧୬.୨୭)$$

ସହ ସଂପୃକ୍ତ ; ଏଠାରେ $A = a^{-\frac{1}{2}}\pi^{-\frac{1}{4}}$ ଯଦ $\int_{-\infty}^{\infty} \psi^*\psi dx = 1$

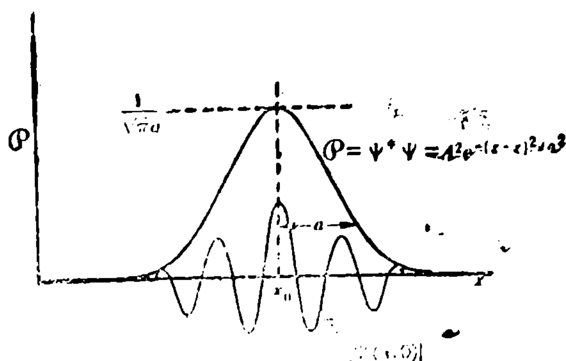
ଦ୍ୱାରା ψକୁ ପ୍ରକୃତସ୍ଥ କରାଯାଇଅଛି । ଏଥିପାଇଁ P $(x, 0)$ ଯେଉଁ ବିନ୍ଦୁଗୁଡ଼ିକରେ ଏହାର ସର୍ବାଧିକ ମୂଲ୍ୟର $1/e$ ହୁଏ, ସେଠାରେ ରେଖାର ଅର୍ଦ୍ଧ-ପ୍ରସ୍ଥ A ହେବ । ଏହାପରେ ଯେଉଁ ଆଲୋଚନା କରାଯିବ, ଆମେ ଗୋଟିଏ ସାଧାରଣ ψ ପାଇଁ ତତ୍ତ୍ୱଟିକୁ ଗଢ଼ିବା ଏବଂ ତାପରେ ସମୀକରଣ (୧୬.୨୭)କୁ ପ୍ରସାର କରିବାପାଇଁ ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଉଦାହରଣ ରୂପେ ବ୍ୟବହାର କରିବା ।

ସାଧାରଣ ଭାବରେ କହିଲେ, ଯଦି ଗୋଟିଏ କଣିକା ଗୋଟିଏ ପ୍ରକୃତସ୍ଥ ତରଙ୍ଗ ଫଳନ $\psi(x, t)$ ସଙ୍ଗେ ସଂପୃକ୍ତ ହୁଏ, ଆମେ xର ବାରମ୍ବାର ମୂଲ୍ୟ ସ୍ଥିର କରିବାପାଇଁ x ଓ $x+dx$ ମଧ୍ୟରେ ମିଳିବାର ସମ୍ଭାବନାକୁ କୌଣସି ଗୁରୁତ୍ୱ ଦେଇ ଏବଂ xର ସମସ୍ତ ସମ୍ଭାବ୍ୟ ମୂଲ୍ୟରେ ସମାକଳ କରିବା । ଏହିପରି ମିଳିବା ମୂଲ୍ୟକୁ xର ଆଶା କରାଯିବା ମୂଲ୍ୟ ବୋଲି କୁହାଯାଏ, ଏହାକୁ $\langle x\rangle$ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରାଯାଏ । ଯେ କୌଣସି ସମୟ tରେ

$$\langle x\rangle = \int_{-\infty}^{\infty} \psi^*(x,t)\, x\psi(x,t)\, dx \qquad (୧୬.୨୭)$$

$t=0$ ଠାରେ ସମୀକରଣ (୧୬.୨୭)ର ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ψ ପାଇଁ

$$\langle x\rangle = \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{a\pi^{\frac{1}{2}}}\, x e^{-(x-x_0)/a^2} dx = x_0 \qquad (୧୬.୨୭a)$$



[ଚିତ୍ର ୧୬·୫ ଗୋଟିଏ ଗାଉସୀୟ ତରଙ୍ଗ ଅଣ୍ଡା ପାଇଁ P(x) ଫଳନ । ଏଠାରେ P(x) କଣିକାଟି x ଓ $x+dx$ ମଧ୍ୟରେ $t=0$ ସମୟରେ ମିଳିବାର ସମ୍ଭାବନା ବୁଝାଉଛି । ସମୀକରଣ (୧୬·୨୨)ରେ ଥିବା ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ପାଇଁ $\psi(x, 0)$ର ପ୍ରକୃତ ଅଂଶ ବିନ୍ଦୁ ବିନ୍ଦୁ ରେଖାରେ ଦର୍ଶା ଯାଇଅଛି]

(୧୬·୧୬) ପରି କୌଣସି ଫଳନ କୌଣସି ଗୋଟିଏ ପାରମ୍ପରିକ କିମ୍ବା ବନ୍ଧନ (ଅର୍ଥାତ୍ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି P = 0) କଣିକାର ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ରୂପେ ବ୍ୟବହୃତ ହେଲେ, ଏହା ଫୁରିୟର ସମାକଳ ଦ୍ୱାରା ସାଇନୀୟ ଅସଂଖ୍ୟ ତରଙ୍ଗ ଫଳନର ଯୋଗଫଳରୂପେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରିବ । ପରିଷ୍କାରରୂପେ ଜଣାଅଛି ଯେ, Pର କୌଣସି ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ

$$\psi_s(x, t) = (2\pi\hbar)^{-\frac{1}{2}}\ \phi(P)\ e^{i\ (Px - Et)/\hbar} \qquad (୧୬·୧୮)$$

ସରଳ ତରଙ୍ଗଟି କୌଣସି ଅଞ୍ଚଳରେ P = 0 ଠାରେ ଶ୍ରୋଡିଞ୍ଜରଙ୍କ ସମୀକରଣ (୧୧·୨୦)କୁ ସନ୍ତୁଷ୍ଟ କରିବ । ଏଠାରେ ϕ (P) ହେଲା Pର x ବା t ନଥିବା କୌଣସି ଗୋଟିଏ ଫଳନ ଓ $E = P^2/2m$ ହୋଇଥିବାରୁ E ହେଲା Pର ଗୋଟିଏ ଫଳନ । ଏହିପରି ସମାଧାନଗୁଡ଼ିକରୁ ଯେତେଗୁଡ଼ିଏ ନେଇ ଯୋଗ କଲେ ମଧ୍ୟ ଯୋଗଫଳ ଗୋଟିଏ ସମାଧାନ ହୋଇଥିବାରୁ ଆମେ (୧୬·୧୮)କୁ dpରେ ଗୁଣନ କରି ସମାକଳ ଦ୍ୱାରା କରି ସାଧାରଣ ସମାଧାନ ପାଇ ପାରିବା,

$$\psi_s(x, t) = \int_{-\infty}^{\infty} (2\pi\hbar)^{-\frac{1}{2}} \phi(P) e^{i(Px-Et)/\hbar} dp \qquad (୧୬·୨୯)$$

ଏଠାରେ $(2\pi\hbar)^{-\frac{1}{2}}$ ହେଲା ଗୋଟିଏ ପ୍ରକୃତସ୍ଥ କରିବା ଧ୍ରୁବ । ତେଣୁ

$$\psi_s(x, 0) = \int_{-\infty}^{\infty} (2\pi\hbar)^{-\frac{1}{2}} \phi(P)\, e^{iPx/\hbar} dp \qquad (୧୬·୨୯a)$$

ଓ ଫୁରିୟରଙ୍କ ସମାକଳ ଉପପାଦ୍ୟ ଅନୁସାରେ

$$\phi(P) = (2\pi\hbar)^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} \psi_s(x, 0)\, e^{-iPx/\hbar} dx \qquad [୧୬·୩୦]$$

ଲକ୍ଷ୍ୟ କର ଯେ, ψ ଯଦିଓ x ଓ t ର ଗୋଟିଏ ଫଳନ ϕ (P) ସମୟର ଫଳନ ନୁହେଁ କାରଣ ଗୋଟିଏ ମୁକ୍ତ କଣିକାପାଇଁ ତରଙ୍ଗ ଫଳନରେ ବିଭିନ୍ନ ସଂବେଗ ସମୟ ଅନୁସାରେ ବଦଳେ ନାହିଁ ।

ବର୍ତ୍ତମାନ ସମୀକରଣ (୧୬·୨୬) ର ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ψ ପାଖକୁ ଆମେ ଫେରି ଆସିବା ଓ ଲେଖିବା

$$\phi(P) = (2\pi\hbar)^{-\frac{1}{2}} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{a^{\frac{1}{2}}\pi^{\frac{1}{4}}} e^{-(x-x_0)^2/2a^2} e^{-iP_0x/\hbar} e^{-iPx/\hbar} dx$$

$$= \frac{1}{\pi^{\frac{1}{4}}} \sqrt{\frac{a}{\hbar}}\; e^{-(P-P_0)^2 a^2/2\hbar^2}\; e^{-i(P-P_0)x_0/\hbar} \qquad (୧୬·୩୦a)$$

ψ $(x, 0)$ ବା ϕ (P) ଦୁଇଟି ମଧ୍ୟରୁ ଗୋଟିଏ ଜଣାଥିଲେ ଅନ୍ୟଟି ସ୍ଥିର କରିହେବ, ତେଣୁ ψ ବା ϕ (P) ମଧ୍ୟରୁ ଗୋଟିଏ କଣିକାଟିର ଅବସ୍ଥା ସ୍ଥିର କରି ଦେବ । ψ $(x, 0)$ ଯେକୌଣସି ପ୍ରକୃତସ୍ଥ ଫଳନ ହୋଇଥିବାରୁ କୌଣସି ପାରସ୍ପରିକକ୍ରିୟା ବିହୀନ କଣିକାର ପ୍ରତ୍ୟେକ ସମ୍ଭାବ୍ୟ ତରଙ୍ଗ ଫଳନ 'ସମୀକରଣ (୧୬·୩୦)କୁ ବ୍ୟବହାର କରି ସମୀକରଣ (୧୬·୨୯) ଆକାରରେ ଲେଖାଯାଇ ପାରିବ । ସମୀକରଣ (୧୬·୩୦)ରେ

$(2\pi\phi)^{-\frac{1}{2}}$ଗୁଣକଟି ସଂବେଗ ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ϕ (P) କୁ ପ୍ରକୃତସ୍ଥ କରିବାପାଇଁ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇଅଛି :

$$\int_{-\infty}^{\infty} \phi^*(P)\phi(P)\, dP = 1 \qquad (୧୨·୩୧)$$

$\phi^*(P)\phi(P)dp$ର ଏହି ଅର୍ଥ ଆମର $\psi^*\psi\, dx$ର ଅର୍ଥର ଅନୁରୂପ; ଅର୍ଥାତ୍ $\phi^*(P)\phi(P)dp$ ହେଉଛି କଣିକାଟିର ସଂବେଗ P ଓ P+dP ମଧ୍ୟରେ ରହିବାର ସମ୍ଭାବନା ।

ସମୀକରଣ (୧୨·୩୦a) ଓ (୧୨·୩୧)ରୁ ଆମେ ଦେଖୁ ଯେ, ସ୍ଥାନରେ $t=0$ ସମୟରେ ବଣ୍ଟନ ଯେଉଁ ଆକାରର ସଂବେଗର ବଣ୍ଟନ ଠିକ୍ ସେହି ଆକାରର, କେବଳ ସର୍ବାଧିକ ମୂଲ୍ୟର $\frac{1}{e}$ ଠାରେ ଅର୍ଦ୍ଧ-ପ୍ରସ୍ଥ ହେବ $\hbar/a$ । Pର ଆଶା କରାଯିବା ମୂଲ୍ୟ ନିମ୍ନଲିଖିତ ଦୁଇଟି ବାଟ ମଧ୍ୟରୁ ଗୋଟିକରେ ବାହାର କରାଯାଇପାରେ (P) ସଂବେଗ ପ୍ରକାଶ କରିବାରେ

$$\langle P\rangle = \int_{-\infty}^{\infty} \phi^*(P)P\phi(P)\, dP$$

$$= \frac{1}{\sqrt{\pi}}\ \frac{a}{\hbar} \int_{-\infty}^{\infty} P\, e^{-(P-P_0)^2a^2/\hbar^2}\, dP = P_0$$

ଓ (2) ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପ୍ରକାଶ କରିବାରେ (୧୨·୩୨)

$$\langle P\rangle = \int_{-\infty}^{\infty} \psi^*(x,t)\, \hat{P}\, \psi\, [x,t] dx$$

Pକୁ xର ଫଳନ ଭାବରେ ପ୍ରକାଶ କରିବାପାଇଁ ସମୀକରଣ (୧୧·୨୪a) ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇ ପାରିବ । ଏଥିରୁ ମିଳିଲା

$$\hat{P}\psi = \frac{\hbar}{i}\ \frac{d\psi}{dx}$$

$$\langle P \rangle \quad \int_{-\infty}^{\infty} \psi^*(x, t) \; \frac{\hbar}{i} \frac{\partial \psi(x, t)}{\partial x} dx = P_o \qquad (୧୨·୩୨a)$$

ବର୍ତ୍ତମାନ ଆମର ପ୍ରଶ୍ନ ହେଲା, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଗତି $t = 0$ ଠାରେ ସମୀକରଣ (୧୨·୨୬) ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇ ସମୟ ଅନୁସାରେ କିପରି ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୁଏ । ସମୀକରଣ (୧୨·୨୧)ରେ ସମୀକରଣ (୧୨·୩୦a)କୁ ସ୍ଥାପନ କରି ଓ $P^2/2m = E$ ଏହାକୁ ବ୍ୟବହାର କରି ଆମେ ପାଇବା

$$\psi(x, t) = \sqrt{\frac{a}{2\pi}} \frac{1}{\hbar\pi^{\frac{1}{4}}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-(P-P_o)^2 a^2/2\hbar^2}$$

$$e^{-i(P-P_o)x_o/\hbar} \; e^{i(Px - P^2 t/2m)/\hbar} dp.$$

$$= \sqrt{\frac{a}{2\pi}} \frac{1}{\hbar\pi^{\frac{1}{4}}} e^{iP_o x_o/\hbar} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-(P-P_o)^2 a^2/2\hbar^2}$$

$$e^{iP(x-x_o)/\hbar} \; e^{-iP^2 t/2m\hbar} dp$$

$$= \frac{1}{\pi^{\frac{1}{4}}} \left(a + \frac{i\hbar t}{ma}\right)^{-\frac{1}{2}} e^{i(P_o x - P_o^2 t/2m)/\hbar}$$

$$\times \exp\left[-\frac{(x - x_o - P_o t/m)^2 (1 - i\hbar t/ma^2)}{2(a^2 + \hbar^2 t^2/m^2 a^2)}\right]$$

(୧୨·୩୩)

ଏଥିରୁ ସମ୍ଭାବ୍ୟ ବଣ୍ଟନ ହେଲା,

$$P(x, t) = \psi^* \psi$$

$$= \frac{1}{\sqrt{\pi}} \left(a^2 + \frac{\hbar^2 t^2}{m^2 a^2}\right)^{-\frac{1}{2}} \exp\left[-\frac{(x - x_o - P_o t/m)^2}{a^2 + \hbar^2 t^2/m^2 a^2}\right]$$

(୧୨·୩୪)

ଏହା P_0/m ଗତିବେଗରେ ଯାଉଥିବାରୁ ସମ୍ଭାବ୍ୟ ବଣ୍ଟନ ଗାଉସୀୟ ରହୁଛି. କିନ୍ତୁ ସମୟ ଆଗେଇବା ଅନୁସାରେ ଏହା ଅଧିକରୁ ଅଧିକ ଚଉଡ଼ା ହୋଇ ଯାଉଛି କାରଣ ଅବସ୍ଥାନ ଅଧିକରୁ ଅଧିକ ଅନିଶ୍ଚିତ ହୋଇଯାଉଛି ।

1927 ମସିହାରେ ଏର୍ଣ୍ଣେଫେଷ୍ଟ ପ୍ରମାଣ କଲେ ଯେ, କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀରେ କୌଣସି ବିଭବ କ୍ଷେତ୍ର P(x)ରେ ଗତି କରୁଥିବା ଗୋଟିଏ କଣିକା ପୁରାତନ ଗତି ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ନିମ୍ନଦତ୍ତ ନିୟମ ଲିମିଟ୍‌ରେ ଅର୍ଥାତ୍ ଯେତେବେଳେ ସଂବେଗ ଓ ଅବସ୍ଥାନର ଅନିଶ୍ଚିତତା ହେୟ ହୁଏ, ପାଳନ କରିଥାଏ ।

$$\frac{d\langle P_x\rangle}{dt} = -\frac{\partial P(x)}{\partial x} \quad ଓ \quad \langle P_x\rangle = m\frac{d\langle x\rangle}{dt}$$

ତେଣୁ ଉପର ଲିମିଟ୍‌ରେ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ନିଉଟନ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ନିଉଟନ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀରୁ ମିଳୁଥିବା ଉତ୍ତର ସବୁ ଦେଇଥାଏ । ଏର୍ଣ୍ଣେଫେଷ୍ଟଙ୍କ ଉପପାଦ୍ୟର ପ୍ରମାଣ ପ୍ରଶ୍ନ ଆକାରରେ ଦିଆଯିବ ।

ସମୀକରଣ (୧୨·୩୩) ପରି ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ଯେଉଁ କଣିକାମାନଙ୍କର ସଂବେଗ ଓ ଅବସ୍ଥାନ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଭାବରେ ଜାଣି ହେବନାହିଁ, ସେମାନଙ୍କର ଗତିକୁ ପ୍ରକାଶ କରିବାପାଇଁ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇଥାଏ । ଏହି ତରଙ୍ଗ ଫଳନକୁ ତରଙ୍ଗ ଥିଲି କୁହାଯାଇଥାଏ । ଅସଂଖ୍ୟ ସାଇନୀୟ ତରଙ୍ଗକୁ ଉପରସ୍ଥ କରି ଏହାକୁ ଗଠନ କରାଯାଏ—ଏହାଦ୍ୱାରା କେବଳ କଣିକାଟି ଥିବା ଅଞ୍ଚଳ ଛାଡ଼ିଦେଲେ ଅନ୍ୟ ସବୁଠାରେ ପରିଣାମ ଶୂନ୍ୟ ହୋଇଥାଏ ।

12·6 ହାଇଜେନ ବର୍ଗ ଅନିଶ୍ଚିତ ନିୟମ :

ଯେତେବେଳେ ଅନୁ: ୧୧·୮ରେ ହାଇଜେନବର୍ଗ ଅନିର୍ଦ୍ଦେଶ ନିୟମର ସୂଚନା ଦିଆଯାଇଥିଲା, Δx ଓ ΔP ଅର୍ଥାତ୍ ପର୍ଯ୍ୟାୟକ୍ରମେ ସ୍ଥାନାଙ୍କରେ ଅନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟତା ଓ ତଦ୍‌ଗତ ସଂବେଗରେ ଅନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟତା ସମ୍ବନ୍ଧରେ କୌଣସି ସ୍ପଷ୍ଟ ସଂଜ୍ଞା ଦିଆଯାଇ ନଥିଲା । ହାଇଜେନ ବର୍ଗ ମୂଳତଃ ଗୋଟିଏ ଗାଣିତିକ ସୂତ୍ରାବଳୀରୁ ଏହି ନିୟମ ଆବିଷ୍କାର କରିଥିଲେ । ଆମେ ଏହାକୁ ବର୍ତ୍ତମାନ ଅଧିକ ପାରମାଣବିକ ଦୃଷ୍ଟିରୁ ବିଚାର କରିବା । Δx ଓ ΔPର ବିଭିନ୍ନ

ଉପାୟରେ ସଂଜ୍ଞା ଦେବା ସମ୍ଭବ; ବୋଧହୁଏ ନିମ୍ନଦତ୍ତ ଉତ୍ସରଧାରାରୁ ସର୍ବାଧିକ ବ୍ୟବହାରୋପଯୋଗୀ ସଂଜ୍ଞା ମିଳିପାରିବ । ମନେକର ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ସର୍ବସମ ମଣ୍ଡଳରେ xର ମୂଲ୍ୟ ମାପଦ୍ୱାରା ସ୍ଥିର କରାଯାଇ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ମୂଲ୍ୟ ମିଳିଲା [ଏହିପରି ଫେମାପ ସମୀକରଣ (୧୬'୨୭)ରେ ବର୍ଣ୍ଣିତ ତରଙ୍ଗ ଥିଲ ଦ୍ୱାରା କରାଯାଇପାରେ] । xର ଏହି

ମୂଲ୍ୟଗୁଡ଼ିକ x_0 ନିକଟସ୍ଥ ହେବ । ଆମେ Δxକୁ $\Delta x=[\Sigma(x-x_0)^2]^{\frac{1}{2}}$ ସମ୍ବନ୍ଧ ଦ୍ୱାରା ସଂଜ୍ଞାୟିତ କରିପାରିବା । ଏହି ସମ୍ବନ୍ଧକୁ ସର୍ବସମ୍ମତ ପାର୍ଥକ୍ୟ କୁହାଯାଏ । ଅଧିକ ସାଧାରଣ ଭାବରେ କହିଲେ, ଅଣା କରାଯିବା ମୂଲ୍ୟମାନଙ୍କରେ ପ୍ରକାଶ କଲେ,

$$(\Delta x)^2=\langle(x-\langle x\rangle)^2\rangle=\langle x^2\rangle-\langle 2x\langle x\rangle\rangle+\langle x\rangle^2$$

$$=\langle x^2\rangle-2\langle x\rangle^2+\langle x\rangle^2=\langle x^2\rangle-\langle x\rangle^2 \qquad (୧୬\cdot୩୫a)$$

$$(\Delta P)^2=\langle(P-\langle P\rangle)^2\rangle=\langle P^2\rangle-\langle P\rangle^2 \qquad (୧୬\cdot୩୫b)$$

ତେଣୁ Δx ଓ ΔPଙ୍କର ହାରାହାରି ମୂଲ୍ୟଠାରୁ ପାର୍ଥକ୍ୟ ହାରାହାରି ବର୍ଗର ବର୍ଗମୂଳ ।

ସମୀକରଣ (୧୬'୨୭)ର $\psi(x, 0)$ ପାଇଁ ସମୀକରଣ (୧୬'୨୭a)କୁ ବ୍ୟବହାର କରିବା ପରେ ଆମେ ପାଇବା

$$(\Delta x)^2=\langle(x-x_0)^2\rangle$$

$$=\frac{1}{a\sqrt{\pi}}\int_{-\infty}^{\infty}(x-x_0)^2\, e^{-(x-x_0)^2/a^2}\,dx$$

$$=\frac{a^2}{2} \qquad (୧୬\cdot୩୬a)$$

ଏଠାରେ ଆମେ ପରିଶିଷ୍ଟ ୪Aରେ ଥିବା ସମାକଳର ବ୍ୟବହାର କରିଥାଉଁ । ସେହିପରି

$$(\Delta P)^2=\langle(P-P_0)^2\rangle$$

$$=\frac{1}{\sqrt{\pi}}\frac{a}{\hbar}\int_{-\infty}^{\infty}(P-P_0)^2\, e^{-(P-P_0)^2a^2/\hbar^2}\,dp$$

$$=\frac{1}{2}\left(\frac{\hbar}{a}\right)^2 \qquad (୧୬\cdot୩୬b)$$

ଅତଏବ $\Delta P \; \Delta x = \frac{\hbar}{2}$

ଆମେ ଦେଖାଇ ପାରିବା ଯେ ସମୀକରଣ (୧୨'୨୭)ରେ ଦିଆଥିବା ତରଙ୍ଗ ଥଳର $\Delta P \Delta x$ ପାଇଁ ଯେଉଁ ମୂଲ୍ୟ ମିଳୁଛି [ସମୀକରଣ (୧୨'୩୫)ରେ ଯେଉଁ ସଂଖ୍ୟା ଦିଆ ଯାଇଅଛି] ତା'ଠାରୁ କମ୍ ମୂଲ୍ୟ ଥିବା କୌଣସି ତରଙ୍ଗ ଥଳ ଗଢ଼ାଯାଇ ନପାରେ । ଯଦି ସମୀକରଣ (୧୨'୨୭)ରେ $x - x_0 = \Delta x = a/\sqrt{2}$ ଆମେ ବସାଇବା, ଆମେ $P(x_0 \pm \Delta x, 0) = 0{\cdot}6065\, P(x_0, 0)$ ପାଇବା ଏବଂ $x_0 - \Delta x$ ଓ $x_0 + \Delta x$ ମଧ୍ୟରେ $t = 0$ ସମୟରେ କଣିକାଟିକୁ ପାଇବାର ସମ୍ଭାବନା ହେବ 0'68.

12'7 ସମ୍ଭାବନା ସ୍ରୋତର ଘନତ୍ୱ

ପ୍ରୋଟନ ବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଗୋଟିଏ ସ୍ରୋତ ଚାର୍ଜଯୁକ୍ତ କଣିକାମାନଙ୍କର ଏକ ପ୍ରବାହ ମାତ୍ର । ତେଣୁ ଏଦ୍ୱାରା ଏକ ବିଦ୍ୟୁତ ସ୍ରୋତ ହୋଇଥାଏ । ଏପ୍ରକାର ଏକ ସ୍ରୋତ ତରଙ୍ଗ ଯାନ୍ତ୍ରିକରେ କିପରି ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇ ପାରିବ ?

କଣିକାମାନଙ୍କର ପ୍ରବାହକୁ ପ୍ରକାଶ କରିବାପାଇଁ କ୍ୱାଣ୍ଟମଯାନ୍ତ୍ରିକ ସୂତ୍ର ବାହାର କରିବାକୁ ହେଲେ, ଆମେ ପୁରାତନ ସମ୍ବନ୍ଧଗୁଡ଼ିକରୁ ଆରମ୍ଭ କରିବା । $P(x, y, z, t)$ ଚାର୍ଜ ଘନତ୍ୱ ହେଉ । ଗୋଟିଏ କ୍ଷୁଦ୍ର ଘନଖଣ୍ଡ Δx, Δy, Δz (ଚିତ୍ର ୧୨'୬) ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ଚାର୍ଜ କଥା ବିଚାର କର । ପ୍ରଥମତଃ ସମସ୍ତ ଗତିବେଗ x ଅକ୍ଷ ଦିଗରେ ନିଆଯାଉ । ବାମ ଦିଗରୁ $x = a$ ଠାରେ $\Delta x \;\; \Delta y \;\; \Delta z$ ମଧ୍ୟରେ ଏକକ ସମୟରେ ପ୍ରବେଶ କରୁଥିବା ଚାର୍ଜ ପରିମାଣ $P v_x$ ଗୁଣନ $\Delta y \; \Delta z$, ଏଥିରୁ ଡାହାଣ ଦିଗରେ ବାହାର ଯାଉଥିବା ଚାର୍ଜ ପରିମାଣ

$$(\rho v_x)_{a+\Delta x} \Delta y \Delta z = [\rho v_x + \partial(\rho v_x)/\partial x \cdot \Delta x] \Delta y \Delta z$$

$\Delta x \Delta y \Delta z$ ମଧ୍ୟରେ ଚାର୍ଜ ପରିମାଣ ଅବଶ୍ୟ $\rho \Delta x \Delta y \Delta z$ ।

ଯଦି ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ ଯେତିକି ଚାର୍ଜ ବାହାର ଯାଉଛି, ତାହା ଏଥିରେ ପ୍ରବେଶ କରୁଥିବା ଚାର୍ଜ ପରିମାଣରୁ ଅଧିକ ହୁଏ, ρ ସମୟ ଅନୁସାରେ କମିଯିବ ଏବଂ ଚାର୍ଜ ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମ ଦରକାର କରୁଛି ଯେ,

$$(\rho v_x)_{a+\Delta_x}\Delta y\Delta z-(\rho v_x)_a\Delta y\Delta z=\frac{\partial(\rho v_x)}{\partial x}\Delta x\Delta y\Delta z$$

$$=-\frac{\partial P}{\partial t}\Delta x\Delta y\Delta z \qquad (୧୨'୩୭)$$

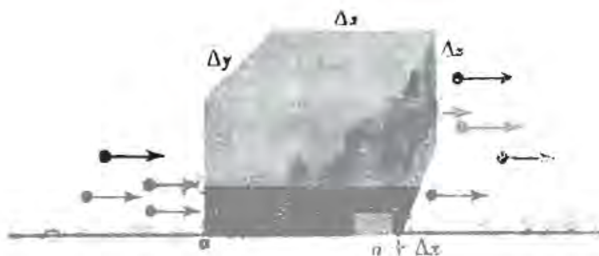
ଏଥିରୁ ଏକ ବିମିତରେ ମିଳୁଛି,

$$\frac{\partial(\rho v_x)}{\partial x}=-\frac{\partial \rho}{\partial t} \qquad (୧୨'୩a)$$

ଆମେ ଏହି ଯୁକ୍ତି ତିନି ବିମିତକୁ ପ୍ରସାର କରିଦେଲେ ପାଇବା,

$$\nabla \rho V=-\frac{\partial \rho}{\partial t} \qquad ୧୨'୩b$$

ଏହାହିଁ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନତାର ସମୀକରଣ ଯେକୌଣସି ପ୍ରବାହରେ ଯଦି p କୌଣସି ଏକ ସଂରକ୍ଷିତ ପଦାର୍ଥର ଘନତ୍ୱ ବୁଝାଏ, ତେବେ ସେଠାରେ ଏହି ସମୀକରଣ ପ୍ରଯୁଜ୍ୟ ହେବ ।



[ଚିତ୍ର ୧୨'୭ ଏକ ବିମିତକ ପ୍ରବାହରେ ଗୋଟିଏ କ୍ଷୁଦ୍ର ସମଘନାକାର ଘନଖଣ୍ଡ $\Delta x\ \Delta y\ \Delta z$ରେ ଧୂଳିର ପ୍ରବେଶ ଓ ନିର୍ଗମନ ।]

ସମୀକରଣ (୧୨'୩୭) ଓ (୧୨'୩a)ର କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଧାରିକା ସ୍ଥିର କରିବାପାଇଁ ଆମେ pକୁ $q\ \psi^*\psi$ ଦ୍ୱାରା ବଦଳାଇ କରିବା; ଏଠାରେ ପ୍ରତି କଣିକାର ଥିବା ଧୂଳି ପରିମାଣ q ଓ $\psi^*\psi\ dx\ dy\ dz$ ସମୟ tରେ କଣିକାଟିକୁ $dx\ dy\ dz$ ଘନଖଣ୍ଡରେ ପାଇବାର ସମ୍ଭାବନା (ଲକ୍ଷ୍ୟ କର ଯେ $\int\int\int \psi^*\psi\ dx\,dy\,dz$ ସମସ୍ତ ସ୍ଥାନ

ଉପରେ ପ୍ରକୃତସ୍ଥ କରାଗଲେ ସେଥି ମଧ୍ୟରେ ଥିବା କଣିକା ସଂଖ୍ୟା ହଏ)। ଅବଚ୍ଛିନ୍ନତାର ସମୀକରଣରେ ρV ଯେଉଁ କାର୍ଯ୍ୟ କରେ qS ଏଠାରେ ସେପରି କାର୍ଯ୍ୟ କରେ ବୋଲି ଧରାଗଲେ, $\vec{S}$ ଗୋଟିଏ ନୂତନ ରାଶି ହେବ; $\vec{S}$ କଣିକାଗୁଡ଼ିକର ସମ୍ଭାବନା ସ୍ରୋତର ଘନତ୍ୱ ବୁଝାଇବ। $\vec{S}$ କୁ ψ ରେ ପାଇବା ପାଇଁ ଆମେ ଅବଚ୍ଛିନ୍ନତାର ସମୀକରଣକୁ ନିମ୍ନମତେ ଲେଖି ପାରିବା,

$$\Delta\cdot q\vec{S} = -\partial(q\psi^*\psi)/\partial t$$

$$\text{ବା}\quad \nabla\cdot\vec{S} = -\frac{\partial}{\partial t}(\psi^*\psi) \qquad (୧୨\cdot୩୯)$$

ସମୀକରଣ (୧୧·୨୩a) ସାହାଯ୍ୟରେ ଆମେ ପାଇବା,

$$\nabla\cdot\vec{S} = -\frac{\partial\psi^*}{\partial t}\psi - \psi^*\frac{\partial\psi}{\partial t}$$

$$= -\frac{\hbar}{2mi}(\psi\nabla^2\psi^* - \psi^*\nabla^2\psi) \qquad (୧୨\cdot୪୦)$$

$$\text{ବା}\quad \vec{S} = \frac{\hbar}{2mi}(\psi^*\nabla\psi - \psi\nabla\psi^*) \qquad (୧୨\cdot୪୧)$$

$\vec{S}$ ରାଶିଟି କଣିକାଗୁଡ଼ିକର ପ୍ରବାହ ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ଭେକ୍ଟର ସମ୍ଭାବନା ସ୍ରୋତ ଘନତ୍ୱ। ଯଦି ପ୍ରତି କଣିକାର ଚାର୍ଜ q ହୋଇଥାନ୍ତା, ତେବେ ଅନୁରୂପ ସମ୍ଭାବନା ସ୍ରୋତ ଘନତ୍ୱ ହୁଅନ୍ତା $q\vec{S}$। ଯଦି ଘନ q କୁ ଅବରୋଧ କରିଥିବା କୌଣସି ପୃଷ୍ଠଦେଶର କ୍ଷେତ୍ରଫଳ A ହୁଏ, $\vec{S}$ ର ଅଭିଲମ୍ବ-ସଂଯୋଜକର ସେହି ପୃଷ୍ଠଦେଶରେ ସମାକଳ, ସେହି ଘନ ମଧ୍ୟରେ କଣିକାଟିକୁ ପାଇବାର ସମ୍ଭାବନାରେ ସମୟାନୁସାରେ ହ୍ରାସ ହାର ବୁଝାଇବ। ତେଣୁ କେଉଁ ହାରରେ ସମ୍ଭାବନା ଆବଦ୍ଧ ପୃଷ୍ଠତଳ A ମଧ୍ୟଦେଇ ବାହାରକୁ

ପ୍ରବାହିତ ହୋଇ ଯାଉଅଛି, ତାହା ବାମପକ୍ଷ ସମାକଳ ସୂଚାଉଅଛି ଓ କେଉଁ ହାରରେ ଘନ ମଧ୍ୟରେ ସମ୍ଭାବତା କମି ଯାଉଅଛି, ତାହା ଡାହାଣପକ୍ଷ ସମାକଳ ସୂଚାଉଅଛି ।

ଯେତେବେଳେ ψର ଆକାର ସମୀକରଣ (୧୧·୧୩) ପରି ହେଉଛି, ସେତେବେଳେ

$$\psi^* = A^* e^{i(Et - P_x x)/\hbar}$$ ଏବଂ

$$S = \frac{P}{m} |A|^2$$

ଏଠାରେ S ହେଲା $\vec{S}$ର ପରିମାଣ । ଡେଣ୍ଡୁକେଉ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛକୁ ସମୀକରଣ (୧୧·୧୩) ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇ ପାରିବ, ତା'ର ଯଥାର୍ଥତା $\vec{S}$ ଭେକ୍ଟର ପ୍ରତି ଆରୋପ କରାଯାଇପାରିବ; $\frac{P}{m}$ ପ୍ରତି କଣିକାର ଗତିବେଗ ହେଲେ ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ $n = P|A|^2/m$ ସଂଖ୍ୟକ କଣିକା ଏକକ କ୍ଷେତ୍ର ଭେଦ କରିସିବେ ।

ପ୍ରଶ୍ନାବଳୀ

୧ । ଦେଖାଅ ଯେ, ଅନୁ: ୧୨'୨ରେ ଦିଆଯାଇଥିବା ସୋପାନ ଅବରୋଧ ପାଇଁ ପ୍ରତିଫଳନାଙ୍କ ଓ ସଞ୍ଚରଣାଙ୍କଦ୍ୱୟର ଯୋଗଫଳ ଏକ ହେବ ।

୨ । ଦେଖାଅ ଯେ ଅନୁ: ୧୨'୨ରେ ଦିଆଯାଇଥିବା ସୋପାନ ଅବରୋଧ ପାଇଁ ପ୍ରତିଫଳନାଙ୍କ R ହେବ,

$$R=\left(\frac{\sqrt{1-P_0/E}-1}{\sqrt{1-P_0/E}+1}\right)^2$$

ଏବଂ ତେଣୁ $\sqrt{1-P_0/E}$ ଆଲୋକ କ୍ଷେତ୍ର ପାଇଁ ଅଭିଲମ୍ବ ଆପତନବେଳେ ଆପେକ୍ଷିକ ପ୍ରତି ସରଣର ସୂଚକ ପରି କାର୍ଯ୍ୟ କରିବ । ପ୍ରମାଣ କର ଯେ, ଯେପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ E, P_0 ଠାରୁ ବୃହତ୍ତର ଗୋଟିଏ ଧ୍ରୁବାଙ୍କ ହୁଏ, ସୋପାନ ଅବରୋଧ ପାଇଁ $|P_0|$ ଅଧିକ ହେଲେ, P_0 ଯୁକ୍ତ ହେଉ ବା ବିଯୁକ୍ତ ହେଉ ପ୍ରତିଫଳନାଙ୍କ ଅଧିକ ହେବ ।

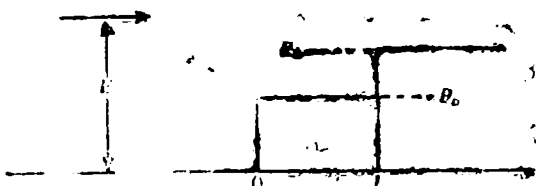
୩ । ସମୀକରଣ (୧୧'୨୧)କୁ A ପାଇଁ G ପଦରେ ସମାଧାନ କର ଓ ତାପରେ ସମୀକରଣ (୧୨'୨୩) ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ କର ।

୪ । ଅନୁ:୧୨.୩ (ଚିତ୍ର ୧୨.୩)ର ଅବରୋଧ ଭେଦ ଅବସ୍ଥା ପାଇଁ ପ୍ରତିଫଳନାଙ୍କ $\frac{|B|^2}{|A|}$ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ଏବଂ ଦେଖାଅ ଯେ ପ୍ରତିଫଳନାଙ୍କ ଓ ସଞ୍ଚରଣାଙ୍କଦ୍ୱୟର ସମଷ୍ଟି 1 ହେବ ।

୫ । ଚିତ୍ର ୧୨.୩ରେ ଦିଆଯାଇଥିବା ଅବରୋଧ ପାଇଁ $E>P_0$ ହେବାବେଳେ ପ୍ରତିଫଳନାଙ୍କ ଓ ସଞ୍ଚରଣାଙ୍କ ବାହାର କର । ଦେଖାଅ ଯେ ଶକ୍ତିର କେତେକ ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ ସଞ୍ଚରଣାଙ୍କ ଏକ ହୋଇ ଯାଉଅଛି । ଅବରୋଧର ଉଭୟ ପାର୍ଶ୍ୱରୁ ପ୍ରତିଫଳନ ହେବା ସମୟରେ କାହିଁକି ଏହା ସମ୍ଭବ ହେବ ବୁଝାଇ ଦିଅ ।

୬ । ଚିତ୍ର ୧୬'୪ର ବର୍ଗକୂପ ପାଇଁ ପ୍ରତିଫଳନାଙ୍କ R ବାହାର କର । $R+T=1$ ବୋଲି ଦେଖାଅ । ଯଦି P_o ଓ w ସ୍ଥିର ହୁଏ, Eର କେଉଁ ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ ସର୍ବାଧିକ ପ୍ରତିଫଳନ ହେବ ? Eର ସର୍ବାଧିକ ମୂଲ୍ୟ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

୭ । ଶକ୍ତି $E>P_L$ (ଚିତ୍ର ୧୬'୭) ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ଇଲେକଟ୍ରନ ସ୍ରୋତ $x=-\infty$ରୁ ଚିତ୍ରରେ ଦେଖାଯାଇଥିବା ବିଭବ ପ୍ରତିରୋଧ ଆପତିତ ହେଲା ।



[ଚିତ୍ର ୧୬'୭]

(କ) ଶ୍ରୁଡ଼ିଞ୍ଜରଙ୍କ ତରଙ୍ଗ ସମୀକରଣର ୧, ୨ ଓ ୩ ଅଞ୍ଚଳରେ ସାଧାରଣ ସମାଧାନ ଗୁଡ଼ିକ ଲେଖ ।

(ଖ) ଯଦି ଅଞ୍ଚଳ ୧ରେ ଆପତନ ତରଙ୍ଗର ବିସ୍ତାର A ହୁଏ, (କ)ରେ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇଥିବା ଅନ୍ୟ ସମସ୍ତ ଧ୍ରୁବକୁ Aରେ ଓ ଅନ୍ୟାଦର ରାଶିମାନଙ୍କରେ ମୂଲ୍ୟାୟନ କରିବାପାଇଁ ଯଥେଷ୍ଟ ସଂଖ୍ୟକ ସମୀକରଣ ବାହାର କର । (ଏହି ସମୀକରଣଗୁଡ଼ିକୁ ସମାଧାନ କରିବାର ଅବଶ୍ୟକତା ନାହିଁ ।

୮ । ପ୍ରଶ୍ନ ୭ଟିକୁ $P_o < E > P_L$ ଘଟଣା ପାଇଁ ଉତ୍ତର କର ।)

୯ । କୌଣସି ଗତିଜ ଫଳନ $G(x, P_x)$ ପାଇଁ ଦେଖାଅ ଯେ

$$\frac{d\langle G\rangle}{dt}=\int \psi^*\frac{i}{\hbar}\left(\hat{H}\hat{G}-\hat{G}\hat{H}\right)\psi\,dx$$

ସୂଚନା—$\langle G \rangle$କୁ ଲେଖ, ଅବକଳନ କର ଓ

$$\hat{H}\psi = \hat{E}\psi = -\frac{i}{\hbar}\frac{\partial\psi}{\partial t}$$

ବ୍ୟବହାର କର ।

୧୦ । ଏହ୍ରେନ୍‌ଫେଷ୍ଟଙ୍କ ଉପପାଦ୍ୟରେ କୁହାଯାଇଛି ଯେ, ଯଦି କୌଣସି କଣିକାପାଇଁ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ଓ ସଂବେଗରେ ଅନିଶ୍ଚିତତାକୁ ନଗଣ୍ୟ କରାଯାଏ, କ୍ୱାଣ୍ଟମଯାନ୍ତ୍ରିକୀରୁ ଯେଉଁ ଉତ୍ତର ସବୁ ମିଳିବ, ତାହା ପ୍ରଚଳନ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀରୁ ମିଳୁଥିବା ଉତ୍ତର ସହିତ ମିଶିଯିବ । ଗୋଟିଏ ଏକବିମିତିକ ଗତି ପାଇଁ $P = P(x)$ ହେଲେ

(କ) $$\frac{d\langle x\rangle}{dt} = \int \psi^* \frac{i}{\hbar}\left(\hat{H}x - x\hat{H}\right)\psi\, dx = \frac{\langle P_x\rangle}{m}$$

ଓ (ଖ) $$\frac{d\langle P_x\rangle}{dt} = \left\langle -\frac{dp}{dx}\right\rangle$$

ହେବ ବୋଲି ଦେଖାଇ ଏହ୍ରେନ୍‌ଫେଷ୍ଟ ଉପପାଦ୍ୟ ଲାଗୁ ହେବ ବୋଲି ଦେଖାଅ ।

———

ତ୍ରୟୋଦଶ ଅଧ୍ୟାୟ

ତରଙ୍ଗ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ—II

ବଦ୍ଧ ଅବସ୍ଥା

ଯେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ କଣିକାକୁ ଗୋଟିଏ ଆବଦ୍ଧ ଅଞ୍ଚଳରେ ଗତି କରିବାପାଇଁ ବାଧ୍ୟ କରାଯାଏ, ସେତେବେଳେ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଅନୁସାରେ କଣିକାଟିର ଶକ୍ତି ପାଇଁ କେତେକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ବିଚ୍ଛିନ୍ନ ମୂଲ୍ୟ ସମ୍ଭବ ହୋଇଥାଏ । ଏହି ଅଧ୍ୟାୟରେ ଗୋଟିଏ ହାର୍ମୋନିକ ଦୋଳକର ଓ ଗୋଟିଏ ବାକ୍ସରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ କଣିକାର ସମ୍ଭାବ୍ୟ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥା-ଗୁଡ଼ିକ ଆଲୋଚିତ ହେବ; ଚତୁର୍ଦ୍ଦଶ ଅଧ୍ୟାୟରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗୋଟିଏ ନିଉକ୍ଲିୟସ ସହ ବାନ୍ଧି ହୋଇ ରହିବା ସମସ୍ୟା ସମାଧାନ କରାଯିବ ।

13·1 ସ୍ଥିର ବା କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାଚୟ :

ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବା ଅନ୍ୟ କୌଣସି କଣିକା ଗୋଟିଏ ବଳକ୍ଷେତ୍ର ଦ୍ୱାରା ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଅଞ୍ଚଳରେ ବାନ୍ଧି ହୋଇ ରହିଥିବା ବିଷୟ ବିଚାର କରାଯାଉ; ଏହା ପୁରାତନ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଅନୁସାରେ ସେହି ବଳକ୍ଷେତ୍ରରୁ ଖସିଯିବା ସମ୍ଭବ ନହେଉ ଅର୍ଥାତ୍ କଣିକାର ମୋଟ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ E ଏତେ କମ୍ ହେଉ ଯେ ଏହା ଅନନ୍ତ ଦୂରତାକୁ ଯାଇ ନପାରୁ । ପୁରାତନ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଅନୁସାରେ, ଯେଉଁ ଅଞ୍ଚଳର ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି P (ଏହା କେବଳ ସ୍ଥାନାଙ୍କର ଫଳନ ବୋଲି ଅନୁମାନ କରାଯାଏ) ମୋଟଶକ୍ତି Eଠାରୁ କମ୍ କେବଳ ସେହି ଅଞ୍ଚଳରେ କଣିକାଟି ଗତି କରିପାରେ; ଯେଉଁଠାରେ $P<E$, କଣିକାଟିର ଗତିଜ

ଶକ୍ତି K ଦ୍ୱାରା ହେବ । ଏହାପରେ ଘଣ୍ଟାଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ ଶ୍ରୁଡ଼ିଞ୍ଜରଙ୍କ ତରଙ୍ଗ ସମୀକରଣ-ଗୁଡ଼ିକର ସ୍ଥିର ତରଙ୍ଗ ହେବାଭଳି ସମାଧାନ ଖୋଜିବାପାଇଁ ପ୍ରସ୍ତାବ ଦେଲେ । ଏହି ତରଙ୍ଗମାନଙ୍କରେ ଦୋଳନର କଳା ସ୍ଥାନ ଏକାପରି ରହେ, କିନ୍ତୁ ଅଗ୍ରଗାମୀ ତରଙ୍ଗରେ ଯେକୌଣସି ସମୟରେ ତରଙ୍ଗର ଗତି ଦିଗରେ କଳା ଅଗ୍ରସର ହେଉଥାଏ । ତେଣୁ ସ୍ଥିର ତରଙ୍ଗକୁ ପ୍ରକାଶ କରୁଥିବା ଗାଣିତିକ ସୂତ୍ରରେ ସମୟ ଗୋଟିଏ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଗୁଣନରେ ଦେଖାଦେବ ।

ଆମେ ଅନୁ: ୧୧.୯ରେ ଦେଖିଥାଇଁ ଯେ, P ସମୟର ଗୋଟିଏ ଫଳନ ନହେଲେ, ଆମେ ଲେଖିପାରିବା,

$$\psi(x, t) = \psi(x) f(t) = \psi(x)\, e^{-iEt/\hbar} \qquad (୩.୧)$$

ଏଠାରେ ψ ଶ୍ରୁଡ଼ିଞ୍ଜର ତରଙ୍ଗ ସମୀକରଣ

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2\psi}{dx^2} + P(x)\psi(x) = E\psi(x) \qquad (୧୧.୨୨)$$

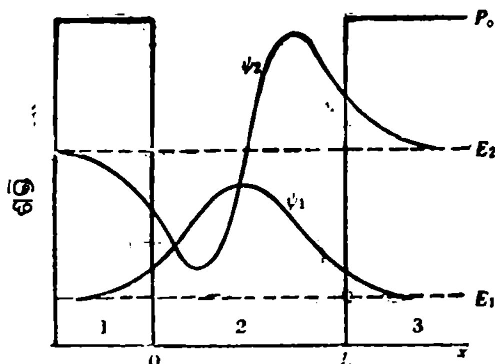
କୁ ସନ୍ତୁଷ୍ଟ କରେ ।

ଶ୍ରୁଡ଼ିଞ୍ଜର ତରଙ୍ଗ ସମୀକରଣର ଗାଣିତିକ ଦୃଷ୍ଟିରୁ କେବଳ ପ୍ରତ୍ୟେକ ସମାଧାନ ଭୌତିକତାରେ ଗ୍ରହଣୀୟ ନୁହେଁ । ଏହି ସମାଧାନଗୁଡ଼ିକୁ ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ଅର୍ଥ ଦେବାପାଇଁ ବିଭିନ୍ନ ଭୌତିକ ଅବସ୍ଥା ସହିତ ଓତପ୍ରୋତଭାବେ ଜଡ଼ିତ ବିଭିନ୍ନ ଗାଣିତିକ ସର୍ତ୍ତ ରହିଅଛି । ଆବଶ୍ୟକସ୍ଥଳେ ଏଗୁଡ଼ିକ ଆଲୋଚିତ ହେବ ।

13·2 ବର୍ଗକୂପ ପାଇଁ ସାଧାରଣ ସମାଧାନ :

ଚିତ୍ର ୧୩.୧ରେ ଦିଆଯାଇଥିବା ବର୍ଗାକାର ବିଭବ କୂପରେ m ବସ୍ତୁତ୍ୱବିଶିଷ୍ଟ ଯେ ଟିଏ କଣିକା ଆବଦ୍ଧ ହେଉ । ଏହି ବିଭବକୂପ ପାଇଁ $0 \leq x \leq L$ରେ $P = 0$ ଏବଂ $x < 0$ ଓ $x > L$ ପାଇଁ $P = P_0$ ହେଉ । ପୁରାତନ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଅନୁସାରେ ଯଦି କଣିକାଟି ଗୋଟିଏ କୂପ ମଧ୍ୟରେ ଆବଦ୍ଧ ରହେ, ତେବେ ଏହାର ଶକ୍ତି E, P_0ଠାରୁ କମ୍ ହେବ । ଗାଣିତିକ ସ୍ତରରେ ଗୋଟିଏ ବଦ୍ଧ କଣିକା ଲାଗି ଯେଉଁ ସମସ୍ୟାଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ସମାଧାନ

ସନ୍ତୁଳନରେ ମିଳିଥାଇବ, ଏହି ଘଟଣାଟି ସେହି ମଧ୍ୟରେ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଭାବରେ ସଫଳ । ଏହି ସମାଧାନଟି ଧାତୁ ମଧ୍ୟରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକୁ ଓ ଶ୍ୟାସକୁ ବିସ୍ତୃତ କରିବାରେ ଦରକାରୀ ହେବ ବୋଲି ଆମେ ଦେଖିପାରିବା । ଏହି ଉଦାହରଣରେ ସାଧାରଣ ଭାବରେ ବଳ କରିବା



[ଚିତ୍ର ୧୩·୧ P_0 ଗଭୀରତାବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ବର୍ଗକୂପ । ସର୍ବନିମ୍ନ ଦୁଇଟି ଶକ୍ତିସ୍ତର ଓ $\psi_1 - \psi_2$ ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ଦୁଇଟିର ମଧ୍ୟ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି ।]

ସମସ୍ୟାଗୁଡ଼ିକରେ ଏବଂ ବିଭିନ୍ନ ବସ୍ତୁରଧାରୀ ସ୍ୱଭାବକୁ ଏହି ଉତ୍ତମ ଭାବରେ ଦର୍ଶାଇ ଦିଆଯାଇ ପାରିବ ।

ଅଞ୍ଚଳ ୧ ଓ ୩ ପାଇଁ ଶ୍ରୋଡିଙ୍ଗରଙ୍କ ତରଙ୍ଗ ସମୀକରଣ ହେବ

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2\psi}{dx^2}+P_0\psi=E\psi$$

ବା $$\frac{d^2\psi}{dx^2}=\frac{2m}{\hbar^2}(P_0-E)\psi \qquad (୧୩·୨)$$

ଯେହେତୁ $P_0 > E$, ସାଧାରଣ ସମାଧାନ ହେବ,

ଅଞ୍ଚଳ ୧ :

$$\psi_1 = A\exp\frac{\sqrt{2m(P_o - E)}\,x}{\hbar}$$

$$+ B\exp\left[-\frac{\sqrt{2m(P_o - E)}\,x}{\hbar}\right]$$

$$= Ae^{\alpha x} + Be^{-\alpha x} \qquad (୧୩.୩)$$

ଅଞ୍ଚଳ ୩ :

$$\psi_3 = G\exp\frac{\sqrt{2m(P_o - E)}\,x}{\hbar}$$

$$+ H\exp\left[-\frac{\sqrt{2m(P_o - E)}\,x}{\hbar}\right]$$

$$= Ge^{\alpha x} + He^{-\alpha x} \qquad (୧୩.୪)$$

ଏଠାରେ A, B, G ଓ H ପ୍ରତ୍ୟେକ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ଧ୍ରୁବ, ଏମାନଙ୍କର ମୂଲ୍ୟ ନିର୍ଦ୍ଧାରଣ କରିବାକୁ ହେବ । ଆମେ $\sqrt{2m(P_o - E)}/\hbar = \alpha$ ବସାଇଥାଉଁ । ଲକ୍ଷ୍ୟ କର ଯେ ଯେଉଁ ଅଞ୍ଚଳରେ P ଗୋଟିଏ ଧ୍ରୁବ ଓ ମୋଟ ଶକ୍ତିଠାରୁ ଅଧିକ, ଶ୍ରୁଡ଼ିଙ୍ଗର ତରଙ୍ଗ ସମୀକରଣର ସମାଧାନ ସବୁ ଚରଘାତାଙ୍କୀ ଫଳନ ।

ଅଞ୍ଚଳ 2 ପାଇଁ ତରଙ୍ଗ ସମୀକରଣ ହେବ,

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2\psi}{dx^2} + 0 = E\psi \text{ ବା } \frac{d^2\psi}{dx^2} = -\frac{2mE}{\hbar^2}\psi \qquad (୧୩.୫)$$

ଏହା ସରଳ ଆବର୍ତ୍ତୀ ଗତିର ଅବକଳନ ସମୀକରଣ । ଏହାର ସାଧାରଣ ସମାଧାନ ହେଲା,

$$\psi_2 = C'\exp\frac{i\sqrt{2mE}\,x}{\hbar} + D'\exp\left(-\frac{i\sqrt{2mE}\,x}{\hbar}\right)$$

$$= C\sin\frac{\sqrt{2mE}\,x}{\hbar} + D\cos\frac{\sqrt{2mE}\,x}{\hbar}$$

$$= C'e^{ikx} + D'e^{-ikx} = C\sin kx + D\cos kx \qquad (୧୩.୬)$$

ଏଠାରେ C', D', c ଓ D ପ୍ରତ୍ୟେକ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ଧ୍ରୁବ ଏବଂ $k=\sqrt{2mE}/\hbar$ । ଲକ୍ଷ୍ୟ କର ଯେ, ଯେଉଁ ଅଞ୍ଚଳମାନଙ୍କରେ P ଧ୍ରୁବ ଓ E ଠାରୁ ସାନ, ତହିଁର ସମୀକରଣର ସାଧାରଣ ସମାଧାନଗୁଡ଼ିକ ଦୋଳନକାରୀ ଫଳନ-- ଏଗୁଡ଼ିକୁ କାଳ୍ପନିକ ଏକ୍ସପୋନେନ୍‌ସିଆଲମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ବା ତ୍ରିକୋଣମିତିକ ଫଳନମାନଙ୍କରେ ପୂର୍ବପରି ଭଳିମଭାବେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରେ ।

ଆମେ ଅନୁମାନ କରିଥାଉଁ ଯେ (ଅନୁ: ୧୧.୭) ଆମେ କଣିକାଟିକୁ x ଓ x+dx ମଧ୍ୟରେ କୌଣସି ସମୟ tରେ ପାଇବାର ସମ୍ଭାବନା $\psi^*(x, t)\psi(x, t)\ dx$ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରେ । ଯଦି ଏହି ସମ୍ଭାବନାକୁ xର ସମସ୍ତ ସମ୍ଭାବ୍ୟ ମୂଲ୍ୟ ଉପରେ ଯୋଗ କରି ଦିଆଯାଏ, ଏହି ସମଷ୍ଟିରେ ଆମର ପ୍ରକୃତିସ୍ଥ କରିବା ସର୍ତ୍ତ ହେବ,

$\int_{-\infty}^{\infty}\psi^*\psi\ dx=1$, କାରଣ ଆମର ଗୋଟିଏ ମାତ୍ର କଣିକା ଅଛି ଓ ତାହା ନିଶ୍ଚୟ କେଉଁଠାରେ ହେଲେ ରହୁଅଛି । ଏଥିରୁ ଆମେ ଦେଖାଇ ପାରିବା ଯେ, ସମୀକରଣ (୧୩.୩) ଓ (୧୩.୪)ରେ B ଓ G ନିଶ୍ଚୟ ଶୂନ ହେବ । ଅଞ୍ଚଳ ୧ରେ Be^{-ax} ଫଳନଟି x 0 ଠାରୁ $-\infty$କୁ ଗଲା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ବୃଦ୍ଧି ଲାଭ କରୁଥିବାରୁ, ପ୍ରକୃତିସ୍ଥ କରିବା ସର୍ତ୍ତ କେବଳ $B=0$ ନେଲେ ଲବ୍ଧ ହେବ, ସେହିପରି ଯୁକ୍ତିରୁ $G=0$ ହେବ ବୋଲି ଦେଖାଇ ହେବ । ତେଣୁ ଉଭୟ ଅଞ୍ଚଳ ୧ ଓ ୩ରେ ବଳବ କଣିକାକୁ ତେଇଁଯିବା ପରେ ଉତ୍ପନ୍ନ ଫଳନଗୁଡ଼ିକ ହେଲା କେବଳ ଚରଘାତାଙ୍କରୂପେ କମିଯାଉଥିବା ଫଳନ $\psi_1=Ae^{ax}$ ଓ $\psi_3=He^{-ax}$,

ଯଦି $\psi^*\psi dx=\psi^*\psi dx$, x ଓ $x+dx$ ମଧ୍ୟରେ କଣିକାଟିକୁ ପାଇବାର ସମ୍ଭାବନା ପ୍ରକାଶ କରେ, ଏହି ସମ୍ଭାବନା ସସୀମ, ଏକ ମୂଲ୍ୟବାନ ଓ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ହେବ ବୋଲି ମନେ କରିବା ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ଏବଂ ψ ଉପରେ ନିମ୍ନଲିଖିତ ସର୍ତ୍ତଗୁଡ଼ିକ ଆରୋପ କରି ଏହି ସମ୍ଭାବନା ମିଳି ପାରିବ :

୧ । ψ ସସୀମ, ଏକ ମୂଲ୍ୟବାନ ଓ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ :

ଏହା ମଧ୍ୟ, ଆମେ ଦେଖିବା ଯେ, ଯଦି କଣିକାଟିର ସଂବେଗ ସସୀମ ଓ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ହୁଏ, ψର ପ୍ରଥମ ଅବକଳଜ ମଧ୍ୟ ସସୀମ ଓ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ହେବ । ଗୋଟିଏ ଅସୀମ ବଳବ

ପ୍ରତିରୋଧରେ ସଂବେଗ ବିଚ୍ଛିନ୍ନ ଭାବରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇଥାଏ– ଏହା ଏକ ଅସାଧାରଣ ଅବସ୍ଥା ନୁହେଁ, ଏପ୍ରକାର ଅବସ୍ଥା ବାସ୍ତବ ଜଗତରେ ନମିଳୁଥିବାରୁ ଏହା ଏକ ଅପ୍ରାକୃତିକ ଗାଣିତିକ ସର୍ତ୍ତ ଆବଶ୍ୟକ କରୁଛି । ଆମେ ତେଣୁ ନିମ୍ନୋକ୍ତ ସର୍ତ୍ତଟି ଯୋଗ କରିବା :

୨ । $\dfrac{d\psi}{dx}$ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ଅଟେ (କେବଳ P ଅସୀମ ହେବା ଅବସ୍ଥାକୁ ଛାଡ଼ି)

ବର୍ଗକୂପରେ କଣିକାଟି ପାଇଁ ସୀମା $x=0$ ଓ $x=L$ ଠାରେ ଆମେ ଯେତେବେଳେ ୧ ଓ ୨ ସର୍ତ୍ତଗୁଡ଼ିକୁ ଲଗାଇବା, ଆମେ ନିମ୍ନ ସମୀକରଣଗୁଡ଼ିକ ପାଇବା,

$$A = D \qquad (୧୩.୭a)$$

$$\alpha A = kC \qquad (୧୩.୭b)$$

$$C \sin kL + D \cos kL = He^{-\alpha L} \qquad (୧୩.୭c)$$

$$kC \cos kL - kD \sin kL = -\alpha He^{-\alpha L} \qquad (୧୩.୭d)$$

ପ୍ରକୃତସ୍ଥ କରିବା ସର୍ତ୍ତ ସହ ଏହି ସମୀକରଣଗୁଡ଼ିକ ଧ୍ରୁବଗୁଡ଼ିକୁ ନିରୂପଣ କରିବା ସମ୍ଭବ କରିବ । ପ୍ରଥମରୁ ଅତ୍ୟନ୍ତ କୃତ୍ରିମ ହେଲେ ବି ଅତି ଅବଶ୍ୟ ଅସୀମ କୂପ କଥାସ୍ତୁ ଆଲୋଚନା କରିବା ସରଳ ହେବ—ଏଥିପାଇଁ $P_0 = \infty$ ।

13·3 ଅସୀମ ବର୍ଗକୂପ :

ଯେତେବେଳେ P_0 ଅସୀମ ହୁଏ, α ଅସୀମ ହୋଇଯାଏ । ସମୀକରଣ (୧୭·୭) ଗୁଡ଼ିକୁ ସନ୍ତୁଷ୍ଟ କରିବା ପାଇଁ kCକୁ ସସୀମ କରିବାକୁ ହେବ ଏବଂ ସେଥିପାଇଁ A ଶୂନ ହେବା ଦରକାର । $A = D$ ହେଉଥିବାରୁ $D = 0$ । $He^{\alpha L}$ ଶୂନ ହେଉଥିବାରୁ $C \sin kL = 0$ [ସମୀକରଣ (୧୩·୭d) ଲଗୁ ହୋଇ ପାରବ ନାହିଁ] ।

ଯଦି C ଶୂନ ହୁଏ, ψ ସର୍ବତ୍ର ଶୂନ ହେବ, ଏହା ପ୍ରକୃତସ୍ଥ କରିବା ସର୍ତ୍ତ (ସମୀକରଣ ୧୧·୧୫) ସହ ଖାପ ଖାଉନାହିଁ । ତେଣୁ ଆମେ ସିଦ୍ଧାନ୍ତ କଲୁ ଯେ $\sin kL = 0$ ବା $kL = n\pi$, ଏଠାରେ n ଗୋଟିଏ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା । $R = \sqrt{2mE}/\hbar$

ହୋଇଥିବାରୁ ଶକ୍ତିର କେବଳ କେତେକ ବିଚ୍ଛିନ୍ନ ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ ଶ୍ରୋଡ଼ିଙ୍ଗର ତରଙ୍ଗ ସମୀକରଣର ଗ୍ରହଣୀୟ ସମାଧାନ ରହିଅଛି, ଏହି ମୂଲ୍ୟଗୁଡ଼ିକୁ

$$E_n = \frac{n^2h^2}{8mL^2} \qquad (୧୩୮)$$

ସମ୍ବନ୍ଧ ସନ୍ତୁଷ୍ଟ କରି ପାରିବା ଦରକାର ।

ପ୍ରଚଳିତ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀଠାରୁ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଭିନ୍ନ ଏହି କ୍ୱାଣ୍ଟମ-ଯାନ୍ତ୍ରିକୀରେ ଗୋଟିଏ ପ୍ରଧାନ ତଥ୍ୟର ମିଳିଲା ଯେ, କଣିକାଟିର ଶକ୍ତି କେବଳ କେତେକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ବିଚ୍ଛିନ୍ନ ମୂଲ୍ୟ ହୋଇ ପାରିବ । ଏଗୁଡ଼ିକୁ ଆଇଗେନ ମୂଲ୍ୟ (ଆଇଗେନ ଅର୍ଥ ପ୍ରକୃତ ବା ନିଜସ୍ୱ, ବୁଝାଯାଏ; କେବଳ ଆଇଗେନ ମୂଲ୍ୟସବୁ ଶ୍ରୋଡ଼ିଙ୍ଗର ସମୀକରଣର ଗ୍ରହଣୀୟ ମୂଲ୍ୟ ଦେଇଥାଏ । ଅସୀମ ବର୍ଗକୂପ ପାଇଁ ପ୍ରତ୍ୟେକ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା n ପାଇଁ ସମୀକରଣ (୧୩୮)ରୁ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ଆଇଗେନ ମୂଲ୍ୟ ମିଳିଥାଏ; ଏହି nକୁ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା ବୁଝାଯାଏ ।

କଣିକାଟିର ଶକ୍ତି ଶୂନ୍ୟ ହୋଇପାରିବନାହିଁ । ଏହା ଗୋଟିଏ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ବୈଶିଷ୍ଟ୍ୟର ବିଷୟ । କାରଣ $n=0$ ନେଲେ ସର୍ବତ୍ର $\psi=0$ ହେବ ଓ ସେଥିପାଇଁ କଣିକାଟି କୌଣସିଠାରେ ହେଲେ ମିଳିବନାହିଁ । ତେଣୁ ଏଠାରେ ସର୍ବନିମ୍ନ ଶକ୍ତି ଅବସ୍ଥା ବା ଶୂନ୍ୟାବସ୍ଥା ଶକ୍ତି ପରିମାଣ $n=1$ ନେଲେ ମିଳିଥାଏ । ଏହା ହାଇଜେନବର୍ଗଙ୍କ ଅନିଶ୍ଚିତ ନିୟମ ସହିତ ମିଳିଯାଇଥାଏ, କାରଣ ଯଦି $\Delta x = L/2$ ମଧ୍ୟରେ କଣିକାଟିକୁ ପାଇବା ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ହୋଇଯାଏ, ସଂବେଗରେ ଅନିଶ୍ଚିତତା ସମୀକରଣ (୧୧୨)ରେ ଦିଆଥିବା ପରିମାଣରୁ କମ ହୋଇ ନପାରେ । ପ୍ରଥମ ଆଇଗେନ ଅବସ୍ଥାରେ,

$E_1 = \frac{h^2}{8mL^2} = \frac{P_1^2}{2m}$ । ଏଥିରୁ ପ୍ରଥମ ଆଇଗେନ ଅବସ୍ଥାରେ ସଂବେଗ $P_1 = \pm h/2L$ । ଯେହେତୁ କୂପ ମଧ୍ୟରେ ସଂବେଗ ଦୁଇ ଦିଗରୁ ଗୋଟିଏ ଦିଗରେ ହୋଇପାରେ, ମୋଟାମୋଟି ଭାବରେ ଅନିଶ୍ଚିତତା Δx ହେଲା $h/2L$ । ତେଣୁ $\Delta x \Delta P_x = h/4$ । ଏହି ଫଳାଫଳ ଅନିଶ୍ଚିତ ନିୟମ ଅନୁସାରେ ଠିକ୍ ଭାବରେ ମିଳି ଯାଉଛି ।

ଭିନ୍ନ ଆଇଗେନ ମୂଲ୍ୟ (ଓ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା n) ସହ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ଆଇଗେନ ଫଳନ ରହିଅଛି । $0 \leq x \leq L$ ପାଇଁ ଏହା

$$\psi_n = C_n \operatorname{Sin} k_n x = C_n \operatorname{Sin} \frac{n\pi}{L} x \qquad (୧୬.୯)$$

ଦ୍ୱାରା ଏବଂ $-\infty < x \leq 0$ ଓ $x \geq L$ ପାଇଁ ଏହା $\psi_n = 0$ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇଥାଏ ।

ପ୍ରକୃତସ୍ଥ କରିବାର ସର୍ତ୍ତ (୧୬.୧୫a)ରୁ ଆମେ cକୁ ସ୍ଥିର କରି ପାରିବା । କାରଣ

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi^* \psi \, dx = \int_0^L c^2 \operatorname{Sin}^2 (n\pi x/L) \, dx = \frac{c^2 L}{2} = 1$$

ଏଥିରୁ $c = \sqrt{2/L}$ ମିଳିଥାଏ ।

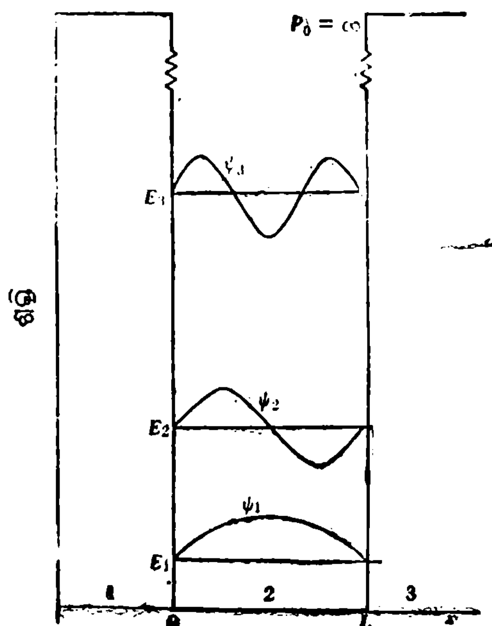
ଅତଏବ ପ୍ରକୃତସ୍ଥ ଆଇଗେନ ଫଳନଗୁଡ଼ିକ ହେଲ,

$$\psi_n = \sqrt{\frac{2}{L}} \operatorname{Sin} \left(\frac{n\pi}{L} x \right) \quad 0 \leq x \leq L \text{ ପାଇଁ} \qquad (୧୬.୯a)$$

ଏହି ଆଇଗେନ ଫଳନଗୁଡ଼ିକ ଗୋଟିଏ ଦୁଇମୁଣ୍ଡ ବନ୍ଧା ଥିବା କମ୍ପିତ ତାରର ଆଇଗେନ ଫଳନର ଅନୁରୂପ । ଏଥିରୁ କେତୋଟି ଅନୁରୂପ ଆଇଗେନ ମୂଲ୍ୟ ସହ ଚିତ୍ର ୧୬.୨ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ପ୍ରଥମ ଆଇଗେନ ଫଳନ ଉପରେ ଦୃଷ୍ଟିପାତ କଲେ ଦେଖାଯିବ ଯେ, କଣିକାଟିକୁ ଗୋଟିଏ କ୍ଷୁଦ୍ର ଦୈର୍ଘ୍ୟରେ dxରେ ପାଇବାର ସମ୍ଭାବନା $|\psi|^2dx$ କୂପର ମଧ୍ୟସ୍ଥଳରେ ଏହାର ଧାର ଅପେକ୍ଷା ବହୁ ପରିମାଣରେ ଅଧିକ । ଏହା ପୁଣି ପୁରାତନ ବସ୍ତୁର୍ଧାରାର ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ବିପରୀତ । ପୁରାତନ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଅନୁସାରେ ଅବରୋଧମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ କଣିକାଟି ଧ୍ରୁବ ଗତିବେଗ ସହ ଗତି କରିବ ଏବଂ କେନ୍ଦ୍ରଠାରେ ଓ ଧାରରେ ମିଳିବାର ସମାନ ସମ୍ଭାବନା ରହିବ । କ୍ୱାଣ୍ଟମଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଆଣ୍ଠୁଣିକକ ସ୍ୱରରେ ଉତ୍ତର ଦେଇ ଯେ, କଣିକାଟି କାନ୍ଥକୁ "ଛୁଇଁବ ନାହିଁ ।"

କେବେ ଯେତେବେଳେ ଅଧିକ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା nକୁ ଯିବ, ψ ଅଧିକ ଅଧିକ ଥରଥରରେ ଦୋଳନ କରିବ, ତେଣୁ କଣିକାଟି କୌଣସି ଦୈର୍ଘ୍ୟ dx ମଧ୍ୟରେ ମିଳିବାର

ସମ୍ଭାବନା କୂପ ମଧ୍ୟରେ ଅଧିକ ପରିମାଣରେ ସମ ହେବ, ଏହା ଅନୁରୂପ ନିୟମ ସହିତ ଖାପ ଖୋଉଅଛି । ଏହା ହେଲେ ମଧ୍ୟ କାନ୍ଥଠାରେ ψ ଶୂନ୍ୟ ରହୁଅଛି । ଲକ୍ଷ୍ୟ କରିବାର କଥା ଯେ, କାନ୍ଥପାଖ ଛାଡ଼ିଦେଲେ ଅନ୍ୟଠାରେ ψ, $n-1$ ଥର ଶୂନ୍ୟ ହେଉଅଛି ।



[ଚିତ୍ର ୧୩.୨ ଗୋଟିଏ ଅସୀମ ବର୍ଗକୂପର ପ୍ରଥମ ତିନୋଟି ଶକ୍ତିସ୍ତର ଓ ଅନୁରୂପ ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ସବୁ]

13·4 ସସୀମ ବର୍ଗକୂପ :

ଅନୁ : ୧୩.୨ ରେ ଆମେ ଯୁକ୍ତି କରିଥାଇଁ ଯେ, ଅଞ୍ଚଳ ୧ ଓ ୩ରେ ତରଙ୍ଗ ଫଳନ $\psi_1 = Ae^{\alpha x}$ ଓ $\psi_3 = He^{-\alpha x}$ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇଥାଏ । କାନ୍ଥଠାରୁ ଦୂରକୁ ଚାଲିଗଲାବେଳେ ଏଗୁଡ଼ିକ କମିଯାଉଥିବା ଏକ୍ସପୋନେନ୍ସିୟାଲ । କୂପ ମଧ୍ୟରେ ψ_2 ଦୋଳାୟମାନ ତ୍ରିକୋଣମିତିକ ଫଳନ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ । ଯଦି ψ ଓ

ଏହାର ଅବକଳନଗୁଡ଼ିକ ସୀମାଠାରେ ଅବଚ୍ଛିନ୍ନ ହୁଅନ୍ତି, ସୀମାର ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ ହେବାବେଳେ ତ୍ରିକୋଣମିତିକ ଫଳନ ପରିମାଣରେ କମି କମି ଯିବା ଦରକାର (ଚିତ୍ର ୧୩'୧) । ଯେତେବେଳେ E ତୁଳନାରେ P_0 ଅଧିକ, ସମୀକରଣ (୧୩'୭) ଗୁଡ଼ିକରୁ ଜଣାଯାଉଛି ଯେ A, D ଓ H ଶ୍ରେଷ୍ଠ ହେବ; କିନ୍ତୁ ଶୂନ୍ୟ ହେବନାହିଁ । ଏଥିରୁ ମିଳୁଥିବା ଆଇଗେନ ଫଳନଗୁଡ଼ିକ ଅସୀମ ବର୍ଗକୂପ ପାଇଁ ମିଳିଥିବା ଆଇଗେନ ଫଳନ-ଗୁଡ଼ିକ ସହିତ ବହୁତ ପରିମାଣରେ ମିଳିଯାଉଛି, କେବଳ ଏତିକି ତଫାତ୍ ଯେ କୂପର ବାହାରେ ଗୋଟିଏ ଶ୍ରେଷ୍ଠ ଏକ୍ସପୋନେନସିଆଲ ପୁଚ୍ଛ ହେଉଅଛି । ଏଥିରୁ ଜଣାଯାଉଛି ଯେ ପୁରାତନ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଅନୁସାରେ ଯେଉଁ ଅଞ୍ଚଳରେ ଗତିଜ ଶକ୍ତି ଶୂନ୍ୟ ହୋଇଥିବାରୁ ସେ ଅଞ୍ଚଳ କଣିକାଟିକୁ ନିଷିଦ୍ଧ ହୋଇଥିଲା, ସେ ଅଞ୍ଚଳକୁ କେତେକ ଭେଦ କରି ଯାଇଛନ୍ତି ।

ଆଇଗେନ ଫଳନମାନଙ୍କର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ଅସୀମ ବର୍ଗକୂପ ଅପେକ୍ଷା ସସୀମ ବର୍ଗକୂପ ପାଇଁ କେତେକ ପରିମାଣରେ ଅଧିକ । ଅଧିକ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ହେଲେ ଅଳ୍ପ ସଂବେଗ ଓ ଅଳ୍ପ ଶକ୍ତିର ହୋଇଥାଏ । ତେଣୁ ସମୀକରଣ (୧୩'୮)ରୁ ସସୀମ ବର୍ଗକୂପ ପାଇଁ ପ୍ରତି ଆଇଗେନ ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ କେତେକ ପରିମାଣରେ ଅଧିକ ଶକ୍ତି ମିଳିବ ।

$P_0 - E$ ପରିମାଣ କମିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ପୁରାତନ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଅନୁସାରେ ନିଷିଦ୍ଧ ଅଞ୍ଚଳକୁ ଭେଦ କରି ଯିବାର ସମ୍ଭାବନା ବଢ଼ି ବଢ଼ିଯିବ; ଅର୍ଥାତ୍ ସମୀକରଣ (୧୩'୭) ଗୁଡ଼ିକରେ A ଓ H ବଢ଼ିବ ଓ κ କମିଯିବ । ଆଉ ମଧ୍ୟ, ବଦ୍ଧ ଅବସ୍ଥାର ସଂଖ୍ୟା କମିଯିବ, କାରଣ n ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ବଦ୍ଧ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକର ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ବଢ଼ିଯାଏ ଏବଂ $P_0 - E$ ସସୀମ ହୋଇଥିବା ବର୍ଗକୂପ ପାଇଁ, ବଦ୍ଧ ଅବସ୍ଥାର ସଂଖ୍ୟା ମଧ୍ୟ ସସୀମ । E ଥରେ P_0କୁ ଡେଇଁଗଲେ, କଣିକାଟି ମୁକ୍ତ ହୋଇଯିବ ଓ ଯେକୌଣସି ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ଗୋଟିଏ ଆଇଗେନ ମୂଲ୍ୟ ହେବ ।

13·5 ଆଶା କରାଯିବା ମୂଲ୍ୟ :

ଗୋଟିଏ ବର୍ଗକୂପ ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଥିବା ପରି ସମସ୍ୟା (ବା ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନ ସହ ବାନ୍ଧି ହୋଇ ଗୋଟିଏ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁ ତିଆରି କଲେ),

କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ କେତେକ ରାଶି ପାଇଁ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ମୂଲ୍ୟ ଦିଏ ନାହିଁ, ଯଥା – ଗୋଟିଏ ଦତ୍ତ ଅବସ୍ଥା ପାଇଁ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ, କିନ୍ତୁ ଅନ୍ୟ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ ନୁହେଁ, ଯଥା— କଣିକାଟିର ଅବସ୍ଥାନ ବା ଏହାର ସଂବେଗ । ଆମେ ଅନୁ. ୧୨·୫ରେ ଦେଖିଥାଉଁ ଯେ, ଗୋଟିଏ କଣିକାର x ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପାଇଁ ଆଶା କରାଯିବା ମୂଲ୍ୟ (ଏକାପରି ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ମଣ୍ଡଳରେ ଏହି ମୂଲ୍ୟ ପରୀକ୍ଷାଦ୍ୱାରା ସ୍ଥିର କରି ହାରାହାରି ନେଲେ ଯେଉଁ ମୂଲ୍ୟ ମିଳିଥାଏ) ହେଲା,

$$\langle x\rangle = \int_{-\infty}^{\infty} \psi^* (x, t)\, x\psi (x, t)\, dx \qquad (୧୨·୨୭)$$

ଏଠାରେ ψ ହେଲା ଗୋଟିଏ ପ୍ରକୃତସ୍ଥ ତରଙ୍ଗ ଫଳନ । ସେହିପରି ଗୋଟିଏ ଫଳନ $f(x)$ର ଆଶା କରାଯିବା ମୂଲ୍ୟ ହେଲା,

$$\langle f (x)\rangle = \int_{-\infty}^{\infty} \psi^*(x, t)\, f (x)\psi (x, t)\, dx \qquad (୧୩·୧୦)$$

ତେଣୁ, ଯଦି ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ଗୋଟିଏ ଫଳନ $P(x)$, Pର ଆଶା କରାଯିବା ମୂଲ୍ୟ ହେଲା,

$$\langle P\rangle = \int_{-\infty}^{\infty} \psi^*(x, t)\, P (x)\psi(x, t)\, dx \qquad (୧୩·୧୦a)$$

ଆମେ ଅନୁ: (୧୨·୫) ଦେଖିଥାଉଁ ଯେ, ସଂବେଗର ଆଶା କରାଯିବା ମୂଲ୍ୟ ପାଇବା ପାଇଁ, ଆମେ P_xକୁ xର ଏକ ଫଳନ ଭାବରେ ପ୍ରକାଶ କରିବା ଦରକାର; କିନ୍ତୁ ଅନିଶ୍ଚିତ ନିୟମ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଭାବରେ ବାରଣ କରୁଛି ଯେ, P_x ଓ x କିଭଳି ଭାବରେ ଏକ ସମୟରେ ସ୍ଥିର କରାଯାଇ ପାରିବ ନାହିଁ । $\langle p_x\rangle$ ନିରୂପଣ କରିବାପାଇଁ ଆମେ $f(x)$ ସ୍ଥାନରେ ଉପଯୁକ୍ତ ଅପରେଟର $\widehat{P}_x$ [ସମୀକରଣ (୧୧·୨୪a)] ନେବା; ତେବେ

$$\langle P_x\rangle = \int_{-\infty}^{\infty} \psi^*(x, t)\, \widehat{P}_x (x)\, \psi (x, t)\, dx$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} \psi (x, t)\, \frac{\hbar}{i}\, \frac{\partial\psi (x, t)}{\partial x}\, dx \qquad (୧୩·୧୧)$$

13·6 ଅବକଳନ ଅପରେଟର :

ଏକ ବିମିତରେ ସଂବେଗ $\vec{P}$ ପାଇଁ ଅପରେଟର ହେଲା ଭେକ୍ଟର ଅବକଳନ ଅପରେଟର

$$\hat{P} = \frac{\hbar}{i}\vec{\nabla} \qquad (୧୩·୧୨a)$$

$$\text{ଓ} \quad \hat{P}^2 = -\hbar^2 \nabla^2 \qquad (୧୩·୧୨b)$$

ଅଣଆପେକ୍ଷିକ ଘଟଣାରେ ଗୋଟିଏ କଣିକାର ଗତିଜ ଶକ୍ତି K ହେଲା $\frac{P^2}{2m}$ ଓ K ପାଇଁ ଅପରେଟର ହେଲା,

$$\hat{K} = -\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2 \qquad (୧୩·୧୩)$$

ଗୋଟିଏ ଏକବିମିତୀୟ ସମସ୍ୟା ପାଇଁ

$$\langle K\rangle = \int_{-\infty}^{\infty} \psi^*(x,t)\left(-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{\partial^2}{\partial x^2}\right)\psi(x,t)\,dx$$

(୧୩·୧୪)

ଏହାକୁ ଖଣ୍ଡ ଖଣ୍ଡ କରି ସମାକଳନ କଲେ ମିଳିବ

$$\langle K\rangle = \frac{\hbar^2}{2m}\left(\left[\psi^*\frac{\partial\psi}{\partial x}\right]_{-\infty}^{\infty} - \int_{-\infty}^{\infty}\frac{\partial\psi}{\partial x}\cdot\frac{\partial\psi^*}{\partial x}dx\right)$$

ପ୍ରକୃତସ୍ଥ କରିବା ସର୍ତ୍ତ $\int_{-\infty}^{\infty}\psi^*\psi dx = 1$ ଅନୁସାରେ ψ^* $x = \pm\infty$ ଠାରେ ଶୂନ ହେବ । ସେହି କାରଣରୁ

$$\langle K\rangle = \frac{\hbar^2}{2m}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{\partial\psi}{\partial x}\cdot\frac{\partial\psi}{\partial x}^* dx \qquad (୧୩·୧୫)$$

ତେଣୁ ଗଡ଼ନ ଶକ୍ତିର ଆଶା କରାଯିବା ମୂଲ୍ୟ $\left|\frac{\partial\psi}{\partial x}\right|^2$ ର ସମାକଳ ପ୍ରତି ଅନୁପାତୀ ।

ପରମାଣୁ ତତ୍ତ୍ୱରେ କୌଣିକ ସଂବେଗ ପାଇଁ ଅପରେଟରର ବହୁ ପ୍ରାଧାନ୍ୟ ରହିଅଛି । ଗୋଟିଏ କଣିକାର Z ଅକ୍ଷରେ କୌଣିକ ସଂବେଗ A_z ସୁଗ୍ରତନ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଅନୁସାରେ

$$A_z = (\vec{r} \times \vec{P})_z = x P_y - y P_x$$

P_y ଓ P_x ପାଇଁ ମୂଲ୍ୟ ସ୍ଥାପନ କଲେ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀରେ ଅନୁରୂପ ଅପରେଟର ହେଲା,

$$\hat{A}_z = \frac{\hbar}{i}\left(x\frac{\partial}{\partial y} - y\frac{\partial}{\partial x}\right) \qquad (୧୩·୧୬)$$

Z ଅକ୍ଷକୁ ଅକ୍ଷ ରୂପରେ ନେଇ ଯଦି ପୋଲାର ସ୍ଥାନାଙ୍କ ଲେଖାଯାଏ, ତେବେ

$$x = r \sin\theta\cos\phi \qquad y = r\sin\theta\sin\phi \qquad z = r\cos\theta$$

$$\frac{\partial}{\partial\phi} = \frac{\partial}{\partial\phi}\frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial\phi}\cdot\frac{\partial}{\partial y} = x\frac{\partial}{\partial y} - y\frac{\partial}{\partial x}$$

ତେଣୁ କୌଣିକ ସଂବେଗର Z ସଂଯୋଜକ ପାଇଁ ଅପରେଟର ନିମ୍ନରୂପେ ମଧ୍ୟ ଲେଖାଯାଇପାରିବ ।

$$\hat{A}_z = \frac{\hbar}{i}\frac{\partial}{\partial\phi} \qquad (୧୩·୧୬a)$$

x ଓ y ସଂଯୋଜକମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଏହିପରି ଉକ୍ତି ସବୁ ସ୍ଥିର କରାଯାଇ ପାରିବ । ତେଣୁ ପରିଣାମୀ କୌଣିକ ସଂବେଗର ବର୍ଗ ପାଇଁ ଅପରେଟର ହେଲା.

$$-\hbar^2\left[\left(y\frac{\partial}{\partial z} - z\frac{\partial}{\partial y}\right)^2 + \left(z\frac{\partial}{\partial x} - x\frac{\partial}{\partial x}\right)^2 + \left(x\frac{\partial}{\partial y} - y\frac{\partial}{\partial x}\right)^2\right] \qquad (୧୩·୧୭)$$

ତରଙ୍ଗ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀରେ ସାଧାରଣ ଭାବରେ ଭୌତିକ ପରିମାଣଗୁଡ଼ିକୁ ଉପଯୁକ୍ତ ଅପରେଟରମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇଥାଏ । କୌଣସି ଦତ୍ତ ପରିମାଣର ଅପରେଟରଟିର

ଉପଯୁକ୍ତତାର ସର୍ବଶେଷ ପରୀକ୍ଷା ଏଥିରୁ ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ନେଇଥିବା ଉତ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ସେହି ଭୌତିକ ପରିମାଣଗୁଡ଼ିକ ସହିତ ମେଳ ଖାଉଥିବାଦ୍ୱାରା ସ୍ଥିର ହୋଇଥାଏ । କୌଣସି ଭୌତିକ ପରିମାଣ Qର କୌଣସି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ମୂଲ୍ୟ ଥିବାର ବା ଏହା କ୍ୱାଣ୍ଟିକୃତ ହେବାର ଗ୍ରହଣୀୟ ସର୍ତ୍ତ ହେଲା ଯେ, $\hat{Q}$ ଅନୁରୂପ ତରଙ୍ଗ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଅପରେଟରର ବୁଝାଏ ଓ Q ଯେଉଁ ମଣ୍ଡଳର ସେହି ମଣ୍ଡଳର ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ψ ହୁଏ, ତେବେ

$$\hat{Q}\psi = Q_n\psi \qquad (୧୩.୧୮)$$

ଏଠାରେ Q_n ଗୋଟିଏ ପ୍ରକୃତ ସଂଖ୍ୟା, ଏହା Qର ମୂଲ୍ୟ । ଏହି ସମୀକରଣର ସୀମାସର୍ତ୍ତଗୁଡ଼ିକୁ ସନ୍ତୁଷ୍ଟ କରୁଥିବା ସମାଧାନଗୁଡ଼ିକ Q ପରିମାଣ ପାଇଁ ସ୍ଥିର ବା କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥା ବୁଝାଇବ । Q_nର ଗ୍ରହଣୀୟ ମୂଲ୍ୟଗୁଡ଼ିକର ସେଟ୍‌ଟିରେ, Qର ମୂଲ୍ୟ ପରୀକ୍ଷାଦ୍ୱାରା ସ୍ଥିର କଲେ ଯେଉଁ ମୂଲ୍ୟ ସବୁ ମିଳିବ କେବଳ ସେହି ଠିକ୍ ମୂଲ୍ୟଗୁଡ଼ିକ ରହିଥିବ ।

ପରୀକ୍ଷାଦ୍ୱାରା ମିଳୁଥିବା ଫଳଗୁଡ଼ିକ କେବଳ ପ୍ରକୃତ ସଂଖ୍ୟା ହୋଇଥିବାରୁ ଆଶା କରାଯିବା ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ ଓ ଆଇଗେନ ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ କେବଳ ପ୍ରକୃତ ସମାଧାନ ସବୁ ଗ୍ରହଣୀୟ । ଏଥିପାଇଁ କେବଳ ଯେଉଁ ଫଳନଗୁଡ଼ିକ ସମୀକରଣ $\langle Q\rangle = \langle Q\rangle^*$କୁ ସନ୍ତୁଷ୍ଟ କରିବ, କେବଳ ସେହି ଫଳନଗୁଡ଼ିକୁ ଭୌତିକ ରାଶିମାନଙ୍କ ଲାଗି ଅପରେଟର ରୂପେ ବ୍ୟବହାର କରି ହେବ ବୋଲି ସୀମିତ ହୋଇଯାଉଛି । ଏଥିରୁ

$$\int \psi^* \hat{Q}\, dxdydz = \int \psi(\hat{Q}\ \psi)^*\, dxdydz$$

ହେବା ସର୍ତ୍ତ ଆରୋପିତ ହେଉଛି । ଏହି ପରି ସର୍ତ୍ତଟି ଯେଉଁ ଅପରେଟର ପୂରଣ କରେ ତାକୁ ହର୍ମିସିଅନ ବୁଝାଯାଏ । କ୍ୱାଣ୍ଟମଯାନ୍ତ୍ରିକରେ ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ରାଶିମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଅପରେଟର ସବୁ ହର୍ମିସିଅନ ହେବେ, ତେବେ ଯାହି ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ରାଶି ପାଇଁ ଆଶା କରାଯିବା ମୂଲ୍ୟ ପ୍ରକୃତ ସଂଖ୍ୟା ହେବ ।

ଦୁଇଟି ଅପରେଟର $\hat{Q}$ ଓ $\hat{F}$ ଯଦି $\hat{Q}\hat{F} - \hat{F}\hat{Q} = 0$ ସର୍ତ୍ତ ପୂରଣ କରନ୍ତି, ତେବେ ସେ ଦୁହେଁ କମ୍ୟୁଟ କଲେ ବୋଲି ବୁଝାଯାଏ । ହର୍ମିସୀୟ ଅପରେଟରମାନେ

ସାଧାରଣ ସ୍ଥଳରେ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର କମ୍ୟୁଟ କରନ୍ତି ନାହିଁ; ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ,

$$x\frac{\hbar}{i}\frac{\partial\psi}{\partial x}-\frac{\hbar}{i}\frac{\partial}{\partial x}x\psi=-\frac{\hbar}{i}\psi$$

ଅପରେଟର $\hat{C}=\hat{Q}\hat{F}-\hat{F}\hat{Q}$, $\hat{Q}$ ଓ $\hat{F}$ ର କମ୍ୟୁଟେଟର ଅପରେଟର । ଉକ୍ତ ସମୀକରଣରୁ ଜଣାଯାଉଛି ଯେ $\hat{c}(x, P_x)=-\frac{\hbar}{i}$ । ଅନ୍ୟପକ୍ଷରେ $\hat{C}(y, P_x)=0$

ତେଣୁ y ଓ P_x ପ୍ରକୃତରେ କମ୍ୟୁଟ କରନ୍ତି । କମ୍ୟୁଟେଟର ଅପରେଟର $\hat{C}$ (Q, F) ଅନେକ ସମୟରେ [Q, F] ରୂପରେ ଲେଖାଯାଏ ।

13·7 ଆୟତାକାର ବାକ୍ସ :

ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକୀରେ ଦିନବମିତିକ ପ୍ରଶ୍ନମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରଥମ ଉଦାହରଣ ସ୍ଥଳରେ ଗୋଟିଏ ଆୟତାକାର ବାକ୍ସ (ଚିତ୍ର ୧୩·୩) ବିଚାର କରାଯାଉ । ଏହାର ପାର୍ଶ୍ୱଗୁଡ଼ିକର ଦୈର୍ଘ୍ୟ L_x, L_y, L_z ହେଉ । ବାକ୍ସ ମଧ୍ୟରେ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ଶୂନ୍ୟ ହେଉ ଓ ବାହାରେ ଏହି ଶକ୍ତି ଅସୀମ ହେଉ । ତେବେ ବାକ୍ସ ବାହାରେ $\psi=0$, ଆଉ ଭିତରେ

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2\psi+0=E\psi \qquad (୧୩·୧୯a)$$

$$\text{ବା}\quad \frac{\partial^2\psi}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\psi}{\partial y^2}+\frac{\partial^2\psi}{\partial z^2}=-\frac{2mE}{\hbar^2}\psi \qquad (୧୩·୧୯b)$$



[ଚିତ୍ର ୧୩·୩ L_x, L_y, L_z ପାର୍ଶ୍ୱ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ଆୟତାକାର ବାକ୍ସ]

ଯଦି ଆମେ $\sqrt{2mE/\hbar}=k$ ଲେଖିବା, $\psi(x, y, z)$ ଅଲଗା ଅଲଗା ଭଗ୍ନ ହେବ ଅର୍ଥାତ୍ $\psi(x, y, z)=X(x)\,Y(y)Z(z)$ ବୋଲି ଅନୁମାନ କରିବା ଓ ସମୀକରଣ (୧୩·୧୯b) କୁ ψ ଦ୍ୱାରା ଭାଗ କରିବା, ଆମେ ପାଇବା

$$\frac{1}{x}\cdot\frac{d^2x}{dx^2}+\frac{1}{y}\cdot\frac{d^2y}{dy^2}+\frac{1}{z}\cdot\frac{d^2z}{dz^2}=-k^2 \qquad (୧୩·୨୦)$$

ଏଠାରେ ଆମେ କେବଳ xର ଗୋଟିଏ ଫଳନ, yର ଗୋଟିଏ ଫଳନ ଓ zର ଗୋଟିଏ ଫଳନର ଯୋଗଫଳ ଗୋଟିଏ ଧ୍ରୁବ ସହ ସମାନ ବୋଲି ନେଇଥାଉଁ । ଯଦି ବାମପାର୍ଶ୍ୱସ୍ଥ ପ୍ରତ୍ୟେକ ପଦ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଭାବରେ ଧ୍ରୁବ ହୁଏ, ତେବେ ଯାଇ ଏହା ସତ୍ୟ ହେବ । ତେଣୁ ଆମେ ଲେଖିବା

$$\frac{1}{x}\,\frac{d^2x}{dx^2}=-k_x^2 \qquad (୧୩·୨୧a)$$

$$\frac{1}{y}\,\frac{d^2y}{dy^2}=-k_y^2 \qquad (୧୩·୨୧b)$$

$$\frac{1}{z}\,\frac{d^2z}{dz^2}=-k_z^2 \qquad (୧୩·୨୧c)$$

ଏଠାରେ ଧ୍ରୁବଗୁଡ଼ିକଙ୍କ ପାଇଁ ବର୍ଗଯୁକ୍ତ ଚିହ୍ନ ନେବାର କାରଣ ତଳେ ବୁଝାଯିବ । ଅବଶ୍ୟ ସମୀକରଣ (୧୩·୨୦)କୁ ସନ୍ତୁଷ୍ଟ କରିବା ପାଇଁ $k_x^2+k_y^2+k_z^2=k$ ହେବ ।

ସମୀକରଣ (୧୩·୨୧a)ର ଗୋଟିଏ ସାଧାରଣ ସମାଧାନ ହେଲା

$$X=A_x\,\mathrm{Sin}\,k_xx+B_x\cos k_xx \qquad (୧୩·୨୨)$$

ଏଠାରେ A_x ଓ B_x ଦୁଇଟି ଧ୍ରୁବ । $x=0$ ଠାରେ ψ ଅବଚ୍ଛିନ୍ନ ହେବାପାଇଁ ଦରକାର $x(0)=0$, ତେଣୁ B_x ନିଶ୍ଚୟ ଶୂନ୍ୟହେବ । ଆଉ ମଧ୍ୟ $X(L_x)=0$, ତେଣୁ

$$A_x\,\mathrm{Sin}\,k_x\,L_x=0 \qquad (13·23)$$

ଏଥିରୁ ମିଳୁଛି $k_x L_x = n_x \pi$, ଏଠାରେ n_x ଗୋଟିଏ ପୂର୍ଣ୍ଣ ସଂଖ୍ୟା । ତେଣୁ ଆମେ ପାଉ

$$X = A_x \operatorname{Sin} \frac{n_x \pi x}{L_x} \qquad (୧୩.୨୪a)$$

ସେହିପରି ଧ୍ରୁବକୁ କାହିଁକି $-k_x^2$ ବୋଲି ଲେଖାଯାଇଥିଲା ଆମେ ବର୍ତ୍ତମାନ ଦେଖି ପାରିବା । ଯଦି ଧ୍ରୁବକୁ ଯୁକ୍ତ କରାଯାଇଥାନ୍ତା, (୧୩.୨୧a)ରେ ସମାଧାନ ଏକ ଚର-ଘାତାଙ୍କୀ ଫଳନ ହୋଇଥାନ୍ତା ଏବଂ X (o) = 0 ଓ X (Lx) = 0 ସର୍ତ୍ତଗୁଡ଼ିକ ପୂରଣ କରିବା ଅସମ୍ଭବ ହୋଇଥାନ୍ତା । Y ଓ Z ପାଇଁ ସେହିପରି ଭାବରେ ହୁଏତ ପାଇବ,

$$Y = A_y \operatorname{Sin} \frac{n_y \pi y}{L_y} \qquad (୧୩.୨୪b)$$

$$Z = A_z \operatorname{Sin} \frac{n_z \pi z}{L_z} \qquad (୧୩.୨୪c)$$

ଏବଂ $\psi = A \operatorname{Sin} \frac{n_x \pi}{L_x} x . \operatorname{Sin} \frac{n_y \pi}{L_y} y \operatorname{Sin} \frac{n_z \pi}{L_z} z$

ଏଠାରେ ଯଦି ପ୍ରକୃତିସ୍ଥ ଭାରଣ ଗୋଟିଏ କରିବା ପାଇଁ କରାଯାଏ ତେବେ

$A = \sqrt{8/L_x L_y . L_z}$ ।

ଶକ୍ତି ପାଇଁ ଆଇଗେନ ମୂଲ୍ୟ

$$k^2 = k_x^2 + k_y^2 + k_z^2 = \pi^2 \left(\frac{n_x^2}{L_x^2} + \frac{n_y^2}{L_y^2} + \frac{n_z^2}{L_z^2} \right) = \frac{2mE}{\hbar^2}$$

$$\text{ବା} \quad E = \frac{h^2}{8m} \left(\frac{n_x^2}{L_x^2} + \frac{n_y^2}{L_y^2} + \frac{n_z^2}{L_z^2} \right) \qquad (୧୩.୨୬)$$

ରୂ ମିଳି ପାରିବ ।

ସର୍ବନିମ୍ନ ସମ୍ଭବ ଶକ୍ତି ବା ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାର ଶକ୍ତି $n_x = 1$, $n_y = 1$, $n_z = 1$ ନେଲେ ମିଳିବ ଓ ଏହା ବାକ୍ସର ଆକାର ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିବ । ଗୋଟିଏ ବାକ୍ସର ପାର୍ଶ୍ୱସୂଚକ $1 A^\circ$ କୋଟିର ହେଲେ ସେଥିରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଶକ୍ତି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଭୋଲ୍ଟ କୋଟିର ହେବ ।

$L_x = L_y = L_z = L$ ଯାଏ଼ ବିଶିଷ୍ଟ ଏକ ସମଘନାକାର ବାକସ ପାଇଁ ଶକ୍ତିର ଆଇଗେନ ମୂଲ୍ୟ ସବୁ ହେବ,

$$E = \frac{h^2}{8mL^2}(n_x^2 + n_y^2 + n_z^2) \qquad (୧୩.୨୭a)$$

ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାର ଶକ୍ତି $E_{111} = \dfrac{3h^2}{8mL^2}$ । ଏହା ଠିକ୍ ପର ନିମ୍ନତମ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ $n_x = 2$, $n_y = 1$, $n_z = 1$ ବା $n_x = 1$, $n_y = 2$, $n_z = 1$ ବା $n_x = 1$, $n_y = 1$, $n_z = 2$ ନେଲେ ମିଳିପାରିବ । ତେଣୁ ସମୀକରଣ (୧୩.୨୭) ପଛ ତିନୋଟି ଆଇଗେନ ଫଳନ ଏକା ଆଇଗେନ ମୂଲ୍ୟ ଦେଉଛନ୍ତି ଏବଂ ଆମେ କହୁ ଯେ ପ୍ରଥମ ଉତ୍ତେଜିତ ଅବସ୍ଥା ତ୍ରିବଳାଣୀ । ସାଧାରଣ ଭାବରେ ଦୁଇ ବା ତତୋଧିକ ଆଇଗେନ ଫଳନ ଅଭାଗ ଲଭିଥାଏ – ଯଦି ସେମାନେ ଶକ୍ତି ପାଇଁ ଏକା ଆଇଗେନ ମୂଲ୍ୟ ଦେଉଥାନ୍ତି । ଶକ୍ତି ମୂଲ୍ୟ $\dfrac{38h^2}{8mL^2}$ ପାଇଁ ନଅପ୍ରକାର ଅଭାଗ ଘଟିଥାଏ; n_x n_y n_z, (611), (161), (116), (532), (523), (352), (325), (253), (235) ସହ ଏଗୁଡ଼ିକ ସଂପୃକ୍ତ । ବାକ୍ସଟିର ଘନାକାରର ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ଲୋପ କରିଦେଲେ, ଏହି ନିମ୍ନସ୍ଥ ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କରେ ଉଭୟ ଅଭାଗ ଆଉ ଦେଖାଯାଏନାହିଁ, ଯଦି L_x, L_y ଓ L_zରେ ସାମାନ୍ୟ ତାରତମ୍ୟ ହୋଇଯାଏ । ତେବେ ଏହି ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକରେ ଶକ୍ତି ଆଉ ଏକା ହୁଏନାହିଁ ।

13·8 ହାର୍ମୋନିକ ଦୋଳକ :

ସରଳ ହାର୍ମୋନିକ ଦୋଳକ ସମସ୍ୟାଟି ଅତ୍ୟନ୍ତ ଆବଶ୍ୟକୀୟ । ଯେଉଁ ଅଳ୍ପ କେତୋଟି ପ୍ରଶ୍ନ ଠିକ୍ ଭାବରେ ସମାଧାନ କରି ହୁଏ, ସେଥିମଧ୍ୟରୁ ଏହା ଗୋଟିଏ ବୋଲି ଯେ ଏହା ଏତେ ଦରକାରୀ ତା ନୁହେଁ, ଏଥିରେ ବ୍ୟବହୃତ ପ୍ରଣାଳୀ ମଧ୍ୟ ବହୁ ସ୍ଥଳରେ ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇଥାଏ । ପ୍ରକୃତିରେ ବହୁପ୍ରକାରର ଦୋଳନକାରୀ ମଣ୍ଡଳ ରହିଛନ୍ତି ଯେଉଁଗୁଡ଼ିକୁ ସରଳ ହାର୍ମୋନିକ ଦୋଳକ ସ୍ୱରୂପର (ଅନ୍ତତଃ ସ୍ଥୂଳ ଭାବରେ) ବର୍ଣ୍ଣନା କରାଯାଇପାରିବ ।

m ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ କଣିକା ମୂଳବିନ୍ଦୁ ସହ $F = -\beta x$ ବଳଦ୍ୱାରା ବାନ୍ଧି ହୋଇ ରହିଥିବା ବିଷୟର କରାଯାଉ । ଏଠାରେ β ଗୋଟିଏ ଧ୍ରୁବ । ଏକ ବିମିତିକ ସମସ୍ୟାରେ ମୂଳବିନ୍ଦୁଠାରେ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତିକୁ ଆମେ ଶୂନ୍ୟ ବୋଲି ଧରନେଲେ, $P=0$ ଓ ତେବେ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ଫଳନ $P(x) = \frac{1}{2}\beta x^2$ (ଚିତ୍ର ୧୩.୪) ଏବଂ ପ୍ରଶ୍ନପାଇଁ ଶ୍ରୋଡ଼ିଙ୍ଗର ତରଙ୍ଗ ସମୀକରଣ $\hat{H}\psi = (P^2/2m + P)\psi = E\psi$ ହେଲା,

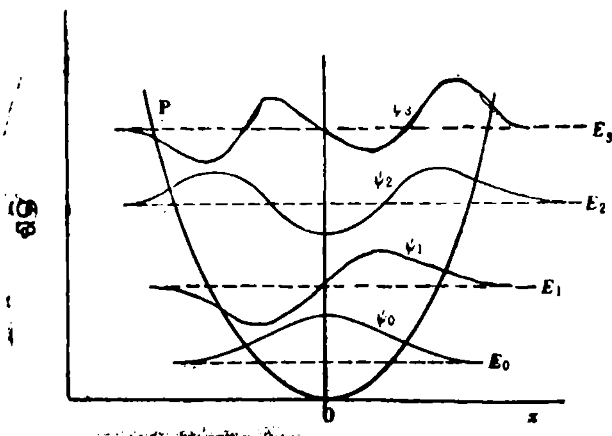
$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2\psi}{dx^2} + \frac{1}{2}\beta x^2\psi = E\psi \qquad (୧୩.୧୭)$$

ପରିଶିଷ୍ଟ ୧୩Aରେ ସମୀକରଣ (୧୩.୧୭)ର ସମାଧାନ କରାଯାଇଅଛି । ଏଠାରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି ଯେ ସମୀକରଣ (୧୩.୧୭) କେବଳ ବିଚ୍ଛିନ୍ନ ଶକ୍ତି

$$E_n = (n + \tfrac{1}{2})h\nu \qquad (୧୩.୧୮)$$

ପାଇଁ ସନ୍ତୁଷ୍ଟ ହେବ । ଏଠାରେ $n = 0, 1, 2 \cdots\cdots\cdots$

ଓ ν ହେଲା ଦୋଳକର ସ୍ୱାଭାବିକ ଆବୃତ୍ତି, ଏବଂ $\sqrt{\beta/m}/2\pi$ ସଙ୍ଗେ ସମାନ । କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଯାନ୍ତ୍ରିକରେ ସାଧାରଣତଃ କଣିକାଟିର ବନ୍ଧ ଅବସ୍ଥା କେବଳ ଶକ୍ତିର ବିଚ୍ଛିନ୍ନ ମୂଲ୍ୟପାଇଁ ମିଳିଥାଏ ।



[ଚିତ୍ର ୧୩.୪ ବିସ୍ଥାପନର (ମୋଟାରେଖା) ଫଳନ ଭାବରେ ଗୋଟିଏ ସରଳ ହାର୍ମୋନିକ ଦୋଳକର ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି, ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ସହ ପ୍ରଥମ ଚାରି ଶକ୍ତି ସ୍ତର]

ହାର୍ମୋନିକ ଦୋଳକର ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥା ଶକ୍ତି ନ୍ୟୂନତମ ଶକ୍ତି) $n=0$ ଓ $E_0=h\nu/2$ ନେଲେ ମିଳିଥାଏ । ଏହାହିଁ ତାର ଶୂନ୍ୟାବସ୍ଥା ଶକ୍ତି, ଏହାର ପୁରାତନ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀରେ କୌଣସି ସମତୁଲ୍ୟ ରହନାହିଁ । ଗୋଟିଏ ହାର୍ମୋନିକ ଦୋଳକର ସସୀମ ଶୂନ୍ୟାବସ୍ଥା ଶକ୍ତି ତାପ-ଗତିକୀରେ ବହୁଳ ଭାବରେ ପ୍ରାଧାନ୍ୟ ଲାଭ କରିଥାଏ ଓ ହାଇଜେନବର୍ଗ ଅନିଶ୍ଚିତ ନିୟମରୁ ଏହା ଏକ ଅପରିହାର୍ଯ୍ୟ ପରିଣାମ ।

ପ୍ରତି ଆଇଗେନ ମୂଲ୍ୟ E_n ସାଙ୍ଗକୁ ପ୍ରକୃତସ୍ଥ ଆଇଗେନ ଫଳନ

$$\psi_n(x)=\left(\frac{\alpha}{\sqrt{\pi}2^n n!}\right)^{\frac{1}{2}} e^{-\alpha^2 x^2/2}\; H_n(\alpha x) \qquad (୧୩.୨୯)$$

ଏଠାରେ $\alpha=\sqrt[4]{m\beta/\hbar^2}$ ଓ $H_n(\alpha x)$ଟି n ତମ ହାର୍ମିଟ୍ ବହୁପଦୀକ ବୁଝାଉଛି (ପରିଶିଷ୍ଟ ୧୩A) । ହର୍ମିଟ ବହୁପଦୀକ ମଧ୍ୟରୁ ପାଞ୍ଚଟି ହେଲା,

$$H_0(\alpha x)=1 \quad H_1(\alpha x)=2\alpha x \quad H_2(\alpha x)=4\alpha^2x^2-2$$
$$H_3(\alpha x)=8\alpha^3x^3-12\alpha x \quad H_4(\alpha x)16x^4x^4-48\alpha^2x^2 \quad H_5 \qquad (୧୩.୩୦)$$

ଏବଂ ପ୍ରଥମ ଦୁଇଟି ଆଇଗେନ ଫଳନ ହେଲା

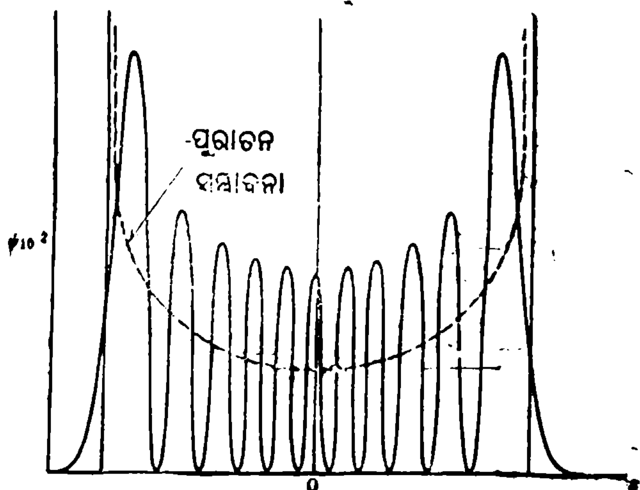
$$\psi_0(x)=\left(\frac{\alpha}{\sqrt{\pi}}\right)^{\frac{1}{2}} e^{-\alpha^2\,{}^2/_2} \qquad (୧୩.୨୯a)$$

$$\psi_1(x)=\left(\frac{\alpha}{2\sqrt{\pi}}\right)^{\frac{1}{2}} 2\alpha x e^{-\alpha^2x^2/_2} \qquad (୧୩.୨୯b)$$

ଚିତ୍ର ୧୩.୪ରେ ପ୍ରଥମ ଚାରିଗୋଟି ଆଇଗେନ ଫଳନ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଦୁଇଟି ଘଟଣା ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଭାବରେ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ । ପ୍ରଥମ ହେଲା ନିଷିଦ୍ଧ ଅଞ୍ଚଳକୁ କଣିକାଟିର ଭେଦ କରି ଯିବା । ଦ୍ୱିତୀୟଟି ହେଲା, ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଭାବରେ ନ୍ୟୂନତର ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ ନିଷିଦ୍ଧ ନ ହୋଇଥିବା ଅଞ୍ଚଳ ମଧ୍ୟରେ dx ଦୈର୍ଘ୍ୟ ଖଣ୍ଡ ମଧ୍ୟରେ କଣିକାଟିକୁ ପାଇବାର ସମ୍ଭାବନା ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଭାବରେ ପୁରାତନ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀରୁ ମିଳୁଥିବା ଉତ୍ତରଠାରୁ ଭିନ୍ନ । ପୁରାତନ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଅନୁସାରେ କଣିକାଟିର ଗତିର ଶେଷ ଭାଗରେ ତାକୁ ପାଇବାର ସମ୍ଭାବନା

ସର୍ବାଧିକ କାରଣ ସେଠାରେ ତା'ର ଗତି ସର୍ବନିମ୍ନ ଏବଂ ଏହା ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ଥିବା ସ୍ଥାନରେ ମିଳିବାର ସମ୍ଭାବନା ସବୁଠାରୁ କମ୍ । କ୍ୱାଣ୍ଟମଯାନ୍ତ୍ରିକ ଉତ୍ତର ଦେଉଛି ଯେ, ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ କଣିକାଟି ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ଥିବା ସ୍ଥାନରେ ମିଳିବାର ସମ୍ଭାବନା ସର୍ବାଧିକ । କେବଳ nର ଅଧିକ ମୂଲ୍ୟଆଡ଼କୁ ଗଲେ, ସମ୍ଭାବନା ବଣ୍ଟନ କ୍ରମେ ପୁରାତନ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀରୁ ମିଳୁଥିବା ବଣ୍ଟନର ନିକଟତର ହେବ । ଏହା ଚିତ୍ର ୧୩.୫ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଉଛି ।

ଚିତ୍ର ୧୩.୪ ଏବଂ ସମୀକରଣ (୧୩.୨୯) ଓ (୧୩.୩୦)ରୁ ଏହା ସ୍ପଷ୍ଟ ହେଉଛି ଯେ, ଯେତେବେଳେ n ଯୁଗ୍ମ ψ ଗୋଟିଏ ଯୁଗ୍ମ ଫଳନ $[\psi(x)=\psi(-x)]$ ଓ n ଅଯୁଗ୍ମ ହେଉଥିବେଳେ ψ ଗୋଟିଏ ଅଯୁଗ୍ମ ଫଳନ $[\psi(x)=-\psi(-x)]$ । ଗୋଟିଏ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ଫଳନରୁ ଉଦ୍‌ଭୂତ ସ୍ଥିର ତରଙ୍ଗ ଆଇଗେନ ଫଳନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଏପରି ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ଏକ ସାଧାରଣ ଘଟଣା, "କଳ" ହେଉ,ଠାରେ ସ୍ଥାନାଙ୍କର ପ୍ରତିଫଳନ ଅନୁସାରେ ψ ଫଳନର ଏକାନ୍ତର ଭାବରେ ଯୁଗ୍ମ ଓ ଅଯୁଗ୍ମ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ହୋଇଥାଏ,



[ଚିତ୍ର ୧୩.୫ ଗୋଟିଏ ହାର୍ମୋନିକ୍ ଦୋଳକର $n=10$ ଅବସ୍ଥା ପାଇଁ ସମ୍ଭାବନା ଘନତ୍ୱ ଫଳନ $\psi_{10}^{*}\psi_{10}$ ଓ $(10+\frac{1}{2})h\nu$ର ପୁରାତନ ବିସ୍ତାର ସୀମାଗୁଡ଼ିକ ରେଖାଦ୍ୱାରା ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଉଛି ଏବଂ x ଓ $x+dx$ ମଧ୍ୟରେ କଣିକାଟିର ପୁରାତନ ସମ୍ଭାବନା ବଣ୍ଟନ ଫଳନ ଖଣ୍ଡ ରେଖାରେ ଦେଖାଯାଉଛି (modified permission)]

ଫଳନଗୁଡ଼ିକ ଯୁଗ୍ମ ଓ ଅଯୁଗ୍ମ ହେବାବେଳେ ସେମାନେ ଯୁଗ୍ମ ବା ଅଯୁଗ୍ମ ପାରିଟି ଦେଖାଉଛନ୍ତି ବୋଲି କୁହାଯାଏ । ଯଦି ଅନୁ: ୧୩.୩ ଓ ୧୩.୪ରେ ଲକ୍ଷ୍ୟ କରିବା ତେବେ ମୂଳବିନ୍ଦୁ ନିଆଯାଇଥାନ୍ତା, ପରିଣାମୀ ଆଇଗେନ ଫଳନଗୁଡ଼ିକର ମଧ୍ୟ ଏକାନ୍ତର ଭାବରେ ଅଯୁଗ୍ମ ଓ ଯୁଗ୍ମ ପାରିଟି ହୋଇଥାନ୍ତା ।

13·9 ଆଇଗେନ ଫଳନମାନଙ୍କର ଧର୍ମ :

କୌଣସି ଏକ କଣିକା ପାଇଁ ଶ୍ରୋଡିଞ୍ଜର ସମୀକରଣର $\psi_n(x)$ ଓ $\psi_j(x)$ ଦୁଇଟି ପ୍ରକୃତସ୍ଥ ଅଣକ୍ଷୟଶୀଳ ଆଇଗେନ ଫଳନ ହୁଅନ୍ତୁ ଓ ଦୁହିଁଙ୍କର ଆଇଗେନ ମୂଲ୍ୟ E_n ଓ E_j ହେଉ । ଆଇଗେନ ଫଳନଗୁଡ଼ିକର ପ୍ରଧାନ ଧର୍ମ ହେଲା ଯେ,

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi_j^* \psi_n \, dx = 0 \quad \text{ଯଦି } j \neq n \qquad (୧୩.୩୧)$$

ଏବଂ ସେହି କାରଣରୁ ସେଗୁଡ଼ିକୁ ଅର୍ଥୋଗୋନାଲ୍ ବୋଲି କୁହାଯାଏ । ଅର୍ଥୋଗୋନାଲିଟି ସମ୍ବନ୍ଧ ଓ ପ୍ରକୃତସ୍ଥ କରିବା ସର୍ତ୍ତ ଦୁଇଟିକୁ ମିଳାଇ ଦେଇ ନିମ୍ନ ସମ୍ବନ୍ଧ ଲଖାଯାଏ,

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi_j^* \psi_n \, dx = \delta_{jn}$$

ଏଠାରେ δ_{jn} (ଏହାକୁ କ୍ରନେକରର ଡେଲ୍ଟା ବୋଲି କୁହାଯାଏ) $j \neq n$ ପାଇଁ 0 ଓ $j = n$ ପାଇଁ 1 ହେବ । ପରିଶିଷ୍ଟ ୧୩Bରେ ଅର୍ଥୋଗୋନାଲିଟି ସମ୍ବନ୍ଧର ପ୍ରମାଣ ଦିଆଯାଇଛି ।

ସମୟ-ସାପେକ୍ଷ ଶ୍ରୋଡିଞ୍ଜର ସମୀକରଣର ପ୍ରତି ତରଙ୍ଗଫଳନ $\psi_n(x, t) = \psi_n(x)\, e^{-iE_n t/\hbar}$ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ସମାଧାନ; ଏମାନଙ୍କର କୌଣସି ରୈଖିକ ଯୋଗଫଳ ମଧ୍ୟ ଗୋଟିଏ ସମାଧାନ ହେବ । ତେଣୁ

$$\psi(x, t) = a_0 \psi_0 e^{-iE_0 t/\hbar} + a_1 \psi_1 e^{-iE_1 t/\hbar} + \cdots$$

$$= \sum_{n=0}^{\infty} a_n \psi_n e^{-iE_n t/\hbar} \qquad (୧୩.୩୨)$$

ଗୋଟିଏ ବ୍ୟାପକ ସମାଧାନ; ଏଠାରେ a ଗୁଡ଼ିକ ଧ୍ରୁବ ଓ ଏଗୁଡ଼ିକ ଜଟିଳ ହୋଇ ପାରନ୍ତି । ଶ୍ରୋଡ଼ିଞ୍ଜରଙ୍କ ସମୀକରଣ (ଏବଂ ଅଧିକ ବ୍ୟାପକ ସମୀକରଣ (୧୩'୧୮)ର ଅନନ୍ତିକ ସମାଧାନ $\psi(x, y, z, t)$ର ଗୋଟିଏ ପ୍ରଧାନ ଧର୍ମ ହେଲା, ସମତୁଲ୍ୟ ଗୋଟିଏ ଫୁରିୟର ସିରିଜ୍‌ରେ ପ୍ରସାରିତ ହୋଇ ପାରୁଥିବା ଭିନ୍ନ ତରଙ୍ଗ ଫଳନମାନଙ୍କର ଗୋଟିଏ ସମଷ୍ଟି ସେହି ଏଥିରେ ଉପଲବ୍ଧ ହେବା; ତେଣୁ

$$\psi = \sum_n a_n \psi_n \qquad (୧୩'୩୨କ)$$

କେତେକ କ୍ଷେତ୍ରରେ Eର ସମ୍ଭାବ୍ୟ ମୂଲ୍ୟଗୁଡ଼ିକ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ହୋଇଥାଏ । ସେତେବେଳେ ଯୋଗଫଳ ସଙ୍କେତ ବା ତା ସ୍ଥାନରେ ଫୁରିୟର ସମାକଳ ପରି ଗୋଟିଏ ସମାକଳ ନେବାକୁ ହେବ । ଯଦି ସମସ୍ତ ଫଳନ ଠିକ୍‌ରୂପେ ପ୍ରକୃତସ୍ଥ ହୋଇଥାନ୍ତି, ψ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହେବାଭଳି ପ୍ରାଥମିକ ଅବସ୍ଥାରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ ମଣ୍ଡଳରେ ପରୀକ୍ଷା କରି E ମାପ କରିବା ଦ୍ୱାରା E_n ମୂଲ୍ୟ ପାଇବାର ସମ୍ଭାବନା $|a_n|^2$ ସହ ସମାନ ହେବ । ଆହୁରି ମଧ୍ୟ କୁହାଯାଇପାରେ ଯେ, ଯଦି ସମସ୍ତ ସାଜସଜ୍ଜା ଓ ପରିମାପ ବହୁବାର କରାଯାଏ Eର ହାରାହାରି ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ମୂଲ୍ୟ Eର ଆଶା କରାଯିବା ମୂଲ୍ୟର ଅତ୍ୟନ୍ତ ପାଖାପାଖି ହେବ । E ର ଆଶା କରାଯିବା ମୂଲ୍ୟ ନିମ୍ନମତେ ଦିଆଯାଏ ।

$$\langle E \rangle = \int \psi^* \hat{E} \psi \, dq = \int \psi^* i\hbar \frac{\partial \psi}{\partial t} dq$$

ଏଠାରେ ψ ରେ ଥିବା ସମସ୍ତ ସ୍ଥାନାଙ୍କ dq-ରେ ରହୁଅଛି । ψ ପାଇଁ ସିରିଜ୍ ଲେଖି ଓ $\int \psi_{jn} \psi_n \, dq = \delta_{jn}$ ବୋଲି ମନେ ପକାଇ ଏହା ସହଜରେ ଠିକ୍ ବୋଲି ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଇପାରେ ।

ଏକ ବମିତରେ ଗୋଟିଏ ଦତ୍ତ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ଖଣ୍ଡ dx ମଧ୍ୟରେ କଣିକାଟିକୁ ପାଇବାର ସମ୍ଭାବନା $\psi^*\psi dx$ । ଯେତେବେଳେ କଣିକାଟି ଗୋଟିଏ ସସୀମ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥା । ψ_1 $\psi_1 = \psi_1^* \psi_1 =$ ଧ୍ରୁବ, ରେ ଥାଏ ସମ୍ଭାବନା ବଣ୍ଟନ ସମୟ ଅନୁସାରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୁଏନାହିଁ । ମାତ୍ର ଯେତେବେଳେ ସମୀକରଣ (୧୩'୩୨)ର a_nରୁ ଏକାଧିକ ଶୂନ୍ୟ ନହୁଅନ୍ତି । କଣିକାଟି ଗୋଟିଏ ମିଶ୍ରିତ ଅବସ୍ଥାରେ ରହେ ଓ ଏହା (୧୩'୩୨)ର ତରଙ୍ଗ

ଫଳ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୁଏ । ଏକ୍ଷେତ୍ରରେ ସମ୍ଭାବନା ଘନତ୍ୱ $|\psi|^2$ ସମୟ ଅନୁସାରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୁଏ ଓ କଣିକାଟି ବୁଲୁଥାଏ ବୋଲି ମନେ କରାଯାଇପାରେ । a ଗୁଡ଼ିକର ଅର୍ଥ ହେଲା- ଯଦି ପରୀକ୍ଷାଦ୍ୱାରା କୌଣସି କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାରେ କଣିକାଟିକୁ ପାଇବାର ଉପାୟ ଥାଏ, ତେବେ ସେହି କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥା nରେ କଣିକାଟିକୁ ପାଇବାର ସମ୍ଭାବନା $|a_n|^2$ [ଅବଶ୍ୟ କେତେକ ପ୍ରଶ୍ନରେ ମଧ୍ୟ Eର ଅନୁମିତ ମୂଲ୍ୟଗୁଡ଼ିକ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ହେବା ଅଧିକ ମିଳିଥାଏ; ଏହି ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକରେ, ସମୀ (୧୩·୩୭)ରେ, ବିଚ୍ଛିନ୍ନ Eଗୁଡ଼ିକୁ ନେଇ ମିଳିଥିବା ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକର ଯୋଗଫଳ ସଙ୍ଗେ ଫୁରିୟରର ସମାକଳ ପରି ଗୋଟିଏ ସମାକଳ ନିଆଯାଇଥାଏ ।] $|\psi|^2$ ଯେ ସମୟ ଅନୁସାରେ ବଦଳିବା ଦରକାର, ତାହା ସୂଚିତ ମୂଲ୍ୟାୟନ କରିଗଲେ ଜଣାଯିବ,

$$\psi^*(x,t)\,\psi(x,t) = \Sigma_n\, a_n^* a_n \psi_n^*(x)\psi_n(x) + \sum_{j=n}\sum_{n} a_j^* a_n \psi_j^* \psi_n\, e^{i(E_j - E_n)t/\hbar} \qquad (୧୩·୩୮)$$

ଏହା ସମୟର ଏକ ଫଳନ ।

13·10 ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସଂକ୍ରମଣ :

ପୁରାତନ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ଯେ କୌଣସି ତ୍ୱରାନ୍ୱିତ ଚାର୍ଜ ଏହାର ତ୍ୱରଣର ବର୍ଗ ସହ ଅନୁପାତୀ ହାରରେ ଶକ୍ତି ବିକିରଣ କରିଥାଏ । କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଯାନ୍ତ୍ରିକରେ ଅନିଶ୍ଚିତ ନିୟମ ଆମକୁ ଜଣାଇଛି ଯେ, ଗୋଟିଏ ଚାର୍ଜର ଅବସ୍ଥାନ ଓ ଗତିବେଗ ଅସୀମ୍ ବିହୀନ ସୂକ୍ଷ୍ମତା ସହ ଏକ ସମୟରେ ସ୍ଥିର କରାଯାଇ ପାରିବନାହିଁ । ପୁରାତନରୁ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ତତ୍ତ୍ୱକୁ ଗଲାବେଳେ ଯଦି କେହି ପୁରାତନ ସୂତ୍ରରେ ସଂଜ୍ଞାପିତ x ସ୍ଥାନାଙ୍କ ସ୍ଥାନରେ ତା ର ଆଶା କରାଯିବା ମୂଲ୍ୟ $\langle x \rangle$ ବସାଏ, ତେବେ ଠିକ୍ ଠିକ୍ ଉତ୍ତର ମିଳିଥାଏ ଏହି ଅର୍ଦ୍ଧ ପୁରାତନ ପ୍ରଣାଳୀ ଏହାର ଅପେକ୍ଷାକୃତ ସରଳତା ଦୃଷ୍ଟିରୁ ଆମେ ବ୍ୟବହାର କରିବା ।

ହାର୍ମୋନିକ ଦୋଳକ ବା ବର୍ଗକୂପ ପାଇଁ ଆମେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନକୁ ଗୋଟିଏ ସ୍ଥିର ଆଇଗେନ ଅବସ୍ଥାରେ ବିଚାର କରିଥାଉଁ. ହେଉପଛେ ଗୋଟିଏ ଉଚ୍ଚ ଆଇଗେନ

ଅବସ୍ଥାରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ନେବା । ପୂର୍ବୋକ୍ତ ଦୁଇ ଘଟଣାରୁ ଯେକୌଣସି ଗୋଟିକରେ n ସ୍ତର ପାଇଁ, $\psi_n(x, t)=\psi_n(x)\, e^{-iE_n t/\hbar}$ ଏବଂ xର ଆଶା କରା ଯିବା ମୂଲ୍ୟ ହେଲା,

$$\langle x\rangle=\int_{-\infty}^{\infty}\psi^* x\, \psi\, dx=\int_{-\infty}^{\infty}\psi_n^* x\psi_n\, dx \qquad (୧୩.୩୪)$$

xର ଆଶା କରାଯିବା ମୂଲ୍ୟ ସମୟର ଏକ ଫଳନ ନୁହେଁ । ତେଣୁ $d^2\langle x\rangle/dt^2$ ଶୂନ୍ୟ ହେବ ଓ କୌଣସି ଶକ୍ତି ବିକିରଣ ହେବନାହିଁ । ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଅଚର ଅବସ୍ଥାରେ ଥିଲେ ବିକିରଣ କରେନାହିଁ । ବୋର୍‌ଙ୍କର ଅର୍ଦ୍ଧପୁରାତନ, ଅର୍ଦ୍ଧ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ, ସେ ଅନୁମାନ କରିଥିଲେ ଯେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟିଏ ବୋର କକ୍ଷରେ ଗତି କରୁଥିଲେ କୌଣସି ବିକିରଣ କରେନାହିଁ : ଏହା ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ତତ୍ତ୍ୱର ନିୟମ ସହିତ ବିରୁଦ୍ଧାଚରଣ କରୁଛି । ପୂର୍ବ କ୍ୱାଣ୍ଟମ-ଯାନ୍ତ୍ରିକ ତତ୍ତ୍ୱର ଅନୁସାରେ, ସଂକ୍ଷିପ୍ତ କକ୍ଷର ଧାରଣାକୁ ପରିତ୍ୟାଗ କରାଯାଇଅଛି, ବିଦ୍ୟୁତ ଗତିକୀକୁ ନୁହେଁ ।

ଯଦି ଅଚର ଅବସ୍ଥାରେ ଗୋଟିଏ କଣିକା ଯଦି ବିକିରଣ କରେନାହିଁ, ବିକିରଣଜାତ ସଂକ୍ରମଣ କିପରି ଘଟିଥାଏ ? ଏହି ପ୍ରଶ୍ନର ଉତ୍ତର ଦେବାପାଇଁ ଆମେ ମନେ ପକାଇବା ଯେ, ବାସ୍ତବରେ ଏହି କଣିକାଟି ଏକାକୀ ରହେନାହିଁ, ଶୀଘ୍ର ହେଉ ବା ବିଳମ୍ବରେ ହେଉ, କୌଣସି ଫୋଟନ (ବା ପରମାଣୁ ବା ଅନ୍ୟ କଣିକା) ତା'ର ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ ହେବ ଓ ତା ସଙ୍ଗେ ପାରସ୍ପରିକକ୍ରିୟା ଘଟାଇବ, ଏହା ଫଳରେ ଶକ୍ତିରେ ବିକ୍ଷୁବ୍ଧ ଘଟିବ ଓ ସେଥିପାଇଁ କାରଣରୁ କଣିକାଟି ଆଉ ଅଚର ଅବସ୍ଥାରେ ରହିବନାହିଁ । ଅନୁମାନ କର ଯେ, କଣିକାଟି ପ୍ରଥମରୁ i ଅବସ୍ଥାରେ ଥିଲା ଓ $t=0$ ବେଳେ ବିକ୍ଷୁବ୍ଧଜାତ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଆରମ୍ଭ ହେଲା । $t>0$ ହେବାପାଇଁ କଣିକାଟିର ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ସମୀକରଣ (୧୩.୩୨) ଦ୍ୱାରା ଅବିକୃତ ମଣ୍ଡଳର ସମ୍ଭବ ତରଙ୍ଗ ଫଳନମାନଙ୍କ ସାହାଯ୍ୟରେ ଦିଆଯାଇଥାଏ । a_nର ମୂଲ୍ୟସବୁ ସମୟର ଫଳନ; $t<0$ ପାଇଁ, $a_i=1$ ଓ ଅନ୍ୟ ସବୁ ଶୂନ୍ୟ । ଅତଏବ ଉପକ୍ରମ ଅନ୍ତ ଶକ୍ତିକୁ ସଠିକ୍ ଭାବରେ ଓ ସେଥିପାଇଁ a_nର ମୂଲ୍ୟସବୁ ସମୟର ଫଳନ ଭାବରେ

ଜାଣିବାପାଇଁ ବ୍ୟବହାର କରୁଛୁ । ମାତ୍ର କଣିକାଟି ଯେତେବେଳେ ମିଶ୍ରିତ ଅବସ୍ଥାରେ ରହୁଛି, ସମୀକରଣ (୧୬·୬୪) ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ xର ଆଶା କରାଯିବା ମୂଲ୍ୟ ହେଉଛି

$$<x> = \int_{-\infty}^{\infty} (\Sigma_n a_n^* a_n \psi_n^* x \psi_n + \sum_j \sum_{j \neq n} a_j^* a_n \psi_j^* x \psi_n$$

$$e^{i(E_j - E_n)t/\hbar} \, dx \qquad (୧୬·୬୫)$$

ଏହା ସ୍ପଷ୍ଟ ଯେ; ସମାକଳର ପ୍ରଥମ ଯୋଗଫଳ ସମୟର ଫଳନ ନୁହେଁ; କିନ୍ତୁ ଦ୍ୱିତୀୟଟି ସମୟର ଫଳନ ।

ଆମେ ଯଦି ଅନୁମାନ କରିବା ଯେ, ପ୍ରାଥମିକ ଅବସ୍ଥା ପାଇଁ $a_i^* \approx 1$ ବ୍ୟତୀତ ଅନ୍ୟ a ଗୁଡ଼ିକ ଶୂନ୍ୟର ପାଖାପାଖି ଓ ଶେଷ ଅବସ୍ଥା ପାଇଁ $a_f \approx 1$; $\langle x \rangle$ର ସମୟ

ସାପେକ୍ଷ ପରିବର୍ତ୍ତନ କେବଳ ଗୋଟିଏ ପଦ $\left(\int_{-\infty}^{\infty} \psi_f \; x \psi_i \, dx\right) e^{i(E \;\; F_i)t/\hbar}$

ହେବ; ଏହି ପଦକୁ ଆମେ $\langle x \rangle_{if}$ ଭାବରେ ନାମିତ କରିବା । କଣିକାଟିରେ ଥିବା ଚାର୍ଜ q ଓ $\langle x \rangle_{if}$ର ଗୁଣଫଳ ଦୋଳାୟମାନ ବିଦ୍ୟୁତ ଦ୍ୱିମେରୁ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣର x ସଂଯୋଜକ, ଏହାର ଆବୃତ୍ତି ଆଇନଷ୍ଟାଇନ ସର୍ତ୍ତ $\nu = (E_f - E_i)/h$ ଦ୍ୱାରା ମିଳିଥାଏ ।

$$q<x>_{if} = q\left(\int_{-\infty}^{\infty} \psi_i^* \, x \psi_f \, dx\right) e^{-i(E_i - _f)t/\hbar} \qquad (୧୬·୬୬)$$

ଆମେ ଦେଖୁ ଯେ, କେବଳ ଯଦି $\int_{-\infty}^{\infty} \psi_f^* \, x\psi_i \; dx$ ଶୂନ୍ୟ ନହୁଏ, ଦ୍ୱିମେରୁ

ଆଘୂର୍ଣ୍ଣର x ସଂଯୋଜକ ସହ ସଂପୃକ୍ତ i ଓ f ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ବିକିରଣକାରୀ ସଂକ୍ରମଣ ସମ୍ଭବ ହେବ । (ଅବଶ୍ୟ ବିଦ୍ୟୁତ ଦ୍ୱିମେରୁ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ଗୋଟିଏ ଭେକ୍ଟର, ଏହାର y ଓ z ସଂଯୋଜକଗୁଡ଼ିକ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଥିବା ପ୍ରଣାଳୀର ତୁଲ୍ୟ ପ୍ରଣାଳୀରେ ନିର୍ଣ୍ଣୟ

କରିହେବ ।) ଯଦି ଉଦ୍ବୋଟିଯାକ ସଂଯୋଜକ ଶୂନ୍ୟ ହୁଏ; i ଓ f ଅବସ୍ଥା ମଧ୍ୟରେ ବିଦ୍ୟୁତ-ଦ୍ୱିମେରୁ ସଂକ୍ରମଣ ଘଟିବ ନାହିଁ ।

ଉଦାହରଣସ୍ୱରୂପ, ଏକ ସରଳ ହାର୍ମୋନିକ ଦୋଳକ ପାଇଁ କେବଳ ଯେତେବେଳେ n ରେ 1 ହ୍ରାସ ହୁଏ, ସେତେବେଳେ ଦ୍ୱିମେରୁ ବିକିରଣ ଘଟିଥାଏ ଓ ଯେତେବେଳେ 1 ବୃଦ୍ଧି ହୁଏ ସେତେବେଳେ ଦ୍ୱିମେରୁ ଶୋଷଣ ଘଟିଥାଏ । ତେଣୁ ହାର୍ମୋନିକ ଦୋଳକ ବାଛିବା ନିୟମ $\Delta n = \pm 1$ ପାଳନ କରିଥାଏ ଏବଂ ଏତେବେଳେ କେବଳ ପ୍ରାକୃତିକ ଦୋଳକ ଆବୃତ୍ତି $\nu = \sqrt{\beta/m}/2\pi$ ବିକିରିତ ବା ଶୋଷିତ ହୋଇଥାଏ ।

ଦୋଳାୟମାନ ବିଦ୍ୟୁତ ଦ୍ୱିମେରୁ ହେଉଛି ବିଦ୍ୟୁତ୍‌ଚୁମ୍ବକୀୟ ତରଙ୍ଗ ବିକିରଣକାରୀ ସୋଟିଏ ସରଳତମ ପ୍ରାକୃତିକ ମଣ୍ଡଳ । ଆମେ ଦେଖିବା ଯେ ପରମାଣୁ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ପ୍ରଧାନ ତେଜସ୍ୱାନ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ଏହି ବିଦ୍ୟୁତ-ଦ୍ୱିମେରୁ ରେଖା; ଅବଶ୍ୟ ଚୁମ୍ବକୀୟ ଦ୍ୱିମେରୁ, ବିଦ୍ୟୁତ-ଚତୁଃମେରୁ ଓ ତତୋଧିକ ବହୁମେରୁଜନିତ ଦୁର୍ବଳତର ରେଖାସବୁ ମଧ୍ୟ ଦେଖାଯାଇଥାଏ ।

13·11 ଆଲୋଡ଼ନ ତତ୍ତ୍ୱ :

ଅଧିକାଂଶ କ୍ଷେତ୍ରରେ ତରଙ୍ଗ ସମୀକରଣଟି କଠୋରଭାବେ ଗାଣିତିକ ପଦ୍ଧତିରେ ଠିକ୍ ଭାବରେ ସମାଧାନ କରାଯାଇପାରେନାହିଁ । ସେତେବେଳେ ହୁଏତ ସାଂଖ୍ୟିକ ସମାକଳ ବା ଆସନ୍ନ ପ୍ରଣାଳୀମାନଙ୍କର ସାହାଯ୍ୟ ନେବାକୁ ହୋଇଥାଏ । ଆସନ୍ନ ପ୍ରଣାଳୀରୁ ବହୁ ଭାବରେ ଦରକାରୀ ଓ ସୁବିଧାଜନକ ହେଲା; ଆଲୋଡ଼ନ ତତ୍ତ୍ୱ । ଏହି ପ୍ରଣାଳୀରେ ତରଙ୍ଗ ସମୀକରଣରୁ ପ୍ରଥମେ କେତେକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଗୌଣ ପଦ ଉହ୍ୟ କରାଯାଇଥାଏ, ଏପରି ଭାବରେ ମିଳିଥିବା ସରଳ ସମୀକରଣଟିକୁ ସମାଧାନ କରାଯାଏ; ତାପରେ ଉହ୍ୟ କରାଯାଇଥିବା ପଦଗୁଡ଼ିକର ପ୍ରଭାବ ପ୍ରକାଶ କରିବାପାଇଁ ଶକ୍ତି ଓ ତରଙ୍ଗଫଳନଗୁଡ଼ିକର ସଂଶୋଧନ କରାଯାଇଥାଏ । ଜ୍ୟୋତିର୍ବିଦମାନଙ୍କର ଉଦ୍ଭାବିତ ପ୍ରଣାଳୀରୁ ଏହି ନାମଟି ଉଦ୍ଭୂତ ହୋଇଅଛି । ଜ୍ୟୋତିର୍ବିଦମାନେ ଗ୍ରହଗୁଡ଼ିକ ସୂର୍ଯ୍ୟ ଚାରିପଟେ ପ୍ରଥମେ ଡିମ୍ବାକାର ପଥରେ ଗତି କରନ୍ତି ବୋଲି ଧରି ନିଅନ୍ତି; ତାପରେ ଅନ୍ୟ ଗ୍ରହମାନଙ୍କର ଆକର୍ଷଣ ଫଳରେ ଏହି ଗତିରେ ଆଲୋଡ଼ନ ପ୍ରଭାବ କରନ୍ତି ।

ମନେକର କୌଣସି ପ୍ରଶ୍ନରେ ସଠିକ୍ ଅଣବକାଶୀ ଆଇଗେନ ଫଳନ ψ_n ଓ ଆଇଗେନ ମୂଲ୍ୟ E_n ଜଣା ଅଛି; ଉଦାହରଣ : ସରଳ ହାର୍ମୋନିକ ଦୋଳକ, ତେଣୁ

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2\psi_n}{dx^2} + P(x)\,\psi_n(x) = E_n\,\psi_n(x) \qquad (୧୩·୩୭)$$

ମନେକର ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ଅଳ୍ପ ପରିମାଣରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହେଲା,

$$P'(x) = P(x) + f(x)$$

ତେବେ ତରଙ୍ଗ ସମୀକରଣ ନିମ୍ନ ଆକାର ନେଲା,

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2\psi_n'}{dx^2} + [P(x) + f(x)]\psi_n' = \psi_n' = E_n'\,\psi_n'$$

(୧୩·୩୮)

ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ଅଳ୍ପ ପରିମାଣରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହେଉଥିବାରୁ, ନୂଆ ଆଇଗେନ ଫଳନ ψ_n' ଓ ନୂଆ ଆଇଗେନ ମୂଲ୍ୟ E_n' କେବଳ ସାମାନ୍ୟ ପରିମାଣରେ ψ_n ଓ E_nଠାରୁ ବଦଳିଯିବ ବୋଲି ଆମେ ଆଶା କରିବା । ଯେକୌଣସି ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ଭାବରେ ଅବସ୍ଥାର ଫଳନକୁ ପ୍ରକାଶ କରି ପାରିବା ଭଳି ଗୋଟିଏ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ସେଟ୍ ψ_n ଗୁଡ଼ିକ ରହୁଥିବାରୁ, ψ_n' ଟି ψ_n ଠାରୁ ଯେଉଁ ପରିମାଣରେ ପ୍ରଭେଦ ହୋଇଥାଏ, ତାକୁ $\sum_{=1}^{\infty} b_i\,\psi_i$ ସିରିଜ୍ ଦ୍ୱାରା ଆମେ ପ୍ରକାଶ କରିବା, ତେଣୁ

$$\psi_n' = \psi_n + \Sigma_i\, b_i\, \psi_i \qquad (୧୩·୩୯)$$

ଏଠାରେ ψ_n' ଯଦି ପ୍ରାୟ ψ_n ସହିତ ସମାନ ହୁଏ, b_i ଗୁଡ଼ିକ ସାନ ହେବ । ସମୀକରଣ (୧୩·୩୯)କୁ ସମୀକରଣ (୧୩·୩୮)ରେ ବସାଇ ଓ ସମୀକରଣ (୧୩·୩୭)କୁ ବାରମ୍ବାର ବ୍ୟବହାର କରି, ଆମେ ପାଇବା

$$E_n\psi_n + \Sigma_i\, b_i\, E_i\, \psi_i + f(x)\psi_n + f(x)\Sigma\, b_i\, \psi_i$$
$$= E'\psi_n + E'_n\, \Sigma\, b\, \psi_i \qquad (୧୩·୪୦)$$

ଏଠାରେ $f(x) \Sigma b_j \psi_j$ ପଦଟି ଦ୍ୱିତୀୟ କୋଟୀର କ୍ଷୁଦ୍ର ରାଶି, କାରଣ $f(x)$ ଓ b_j ଉଭୟ ପ୍ରଥମ କୋଟୀର । ପ୍ରଥମ ସଂଶୋଧନ ପାଇଁ ଆମେ ଏ ପଦଟି ଲୋପ କରିଦେବୁ ।

ତାପରେ ମିଳୁଥିବା ସମୀକରଣଟିକୁ ଆମେ $\psi_n{}^*dx$ ଦ୍ୱାରା ଗୁଣନ କରିବୁ ଓ xର ସମସ୍ତ ଅଞ୍ଚଳ ଉପରେ ସମାକଳ କରିବୁ, ଏତେବେଳେ ମନେ ରଖିବୁ ଯେ

$\int \psi_n{}^*\psi_j \, dx = \delta_{nj}$ । ଏଥିରୁ ମିଳିବ

$$(1+b_n)\,E_n + \int_{-\infty}^{\infty} \psi_n{}^* f(x)\, \psi_n\, dx = (1+b_n)E_n{}'$$

$$E_n{}' - E_n = (1+b_n)^{-1} \int_{-\infty}^{\infty} \psi_n{}^* f(x)\, \psi_n\, dx$$

ଏଠାରେ ସମାକଳଟି ପ୍ରଥମ କୋଟୀର କ୍ଷୁଦ୍ରରାଶି: ତେଣୁ b_n ଦ୍ୱିତୀୟ କୋଟୀର ପ୍ରଭାବ ପକାଇବ ଓ ବଡ଼ ଯୁକ୍ତ ସହ ସମତା ପାଇଁ ଏହାକୁ ଲୋପ କରିବାକୁ ହେବ । ତେଣୁ ଆମେ ଶକ୍ତିର ପ୍ରଥମ କୋଟୀର ସଂଶୋଧନ ପାଇଁ ପାଇବା

$$E'_n - E_n = \int_{-\infty}^{\infty} \psi_n{}^* f(x) \psi_n \; dx \qquad (୧୩·୪୧)$$

ପ୍ରଥମ କୋଟୀର ଅନ୍ଲେଡ଼ନ ଶକ୍ତି $E_n{}' - E_n$ ହେଲା ଅନୁରୂପ ଅଣଅନ୍ଲେଡ଼ିତ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ଉପରେ ହାରାହାରି ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଇଥିବା ବିକ୍ଷୁବ୍ଧ ଫଳନ ।

b_j ଗୁଡ଼ିକ ସ୍ଥିର କରିବାପାଇଁ ଆମେ ସମୀକରଣ (୧୩·୪୦)କୁ ଫେରିଯିବା, ସେଥିରୁ ପୂର୍ବପରି ଦ୍ୱିତୀୟ କୋଟୀର ପଦଗୁଡ଼ିକୁ ଉହ୍ୟ କରାଯାଇଥିବ । ଏହାକୁ ସଙ୍କେତ $\psi_k{}^*dk$ ଦ୍ୱାରା ଗୁଣନ କର, ଏଥିରେ $k \neq n$ । ଆଗ ପରି ସମାକଳ କଲେ ପାଇବ,

$$(E_k - E_n{}')b_k + \int_{-\infty}^{\infty} \psi_k{}^* f(x) \psi_n dx = 0 \qquad (୧୩·୪୨)$$

ଏଠାରେ E_n' ପାଇଁ ଆମେ E_n ବସାଇବା, କାରଣ ଏହାଦ୍ୱାରା କରାଯାଉଥିବା ଭ୍ରମ $(E_n' - E_n)b_k$ ଦ୍ୱିତୀୟ କୋଟୀର । ତେଣୁ ପ୍ରଥମ କୋଟୀର ସଂଶୋଧନ ପାଇଁ

$$b_k = \frac{1}{E_n - E_k} \int_{-\infty}^{\infty} \psi_k^* f(x)\, \psi_n\, dx \qquad (୧୩'୪୨a)$$

ସବୁରି b_nମାନମୁଖୀ ରହିଲେ ଓ ψ_n'କୁ ପ୍ରକୃତସ୍ଥ କଲାଭଳି ଏଥିରୁ ବ୍ୟବସ୍ଥା କରି ହେବ ।

$\int \psi_k^* f(x) \psi_n\, dx$କୁ $f(x)$ର ψ_k ଓ ψ_n ଫଳନ ଅନୁଯାୟୀ ମ୍ୟାଟ୍ରିକ୍ସର ଉପାଦାନ କୁହାଯାଏ । ଏହା'ର ସମ୍ଭାବ୍ୟ ମୂଲ୍ୟସବୁ ମ୍ୟାଟ୍ରିକ୍ ଆକାରରେ ଧାଡ଼ିଗୁଡ଼ିକ k ଦ୍ୱାରା ଓ ସ୍ତମ୍ଭଗୁଡ଼ିକ n ଦ୍ୱାରା ସୂଚିତ ଲେଖାଯାଇ ପାରିବ । $n = k$ ସଂଯୋଜକ-ଗୁଡ଼ିକୁ କର୍ଣ୍ଣ ସଂଯୋଜକ କୁହାଯାଏ ଅର୍ଥାତ୍ ଏଗୁଡ଼ିକ ମ୍ୟାଟ୍ରିକ୍ସର ପ୍ରଧାନ କର୍ଣ୍ଣରେ ଅବସ୍ଥିତ । ତେଣୁ E_nର ପ୍ରଥମ କୋଟୀର ସଂଶୋଧନ $f(x)$ର ψ_n ଅନୁଯାୟୀ କର୍ଣ୍ଣ ମ୍ୟାଟ୍ରିକ୍ସ ସଂଯୋଜକ ଦ୍ୱାରା ଦିଆଯାଏ । ଆଲୋଡ଼ନ ତତ୍ତ୍ୱରୁ ନିଃସୃତ ଏହା ଏକ ପ୍ରଧାନ ଫଳ ।

13·12 ବିକିରଣର ଉତ୍ସର୍ଜନ ଓ ଶୋଷଣ :

ପରମାଣୁ ଓ ଅଣୁମାନଙ୍କର ବିକିରଣକୁ ଶୋଷଣ କରିବା ଓ ଉତ୍ସର୍ଜନ କରିବା ଏକ ପ୍ରଧାନ ଗୁଣ । ପୁରାତନ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀରେ ତ୍ୱରାନ୍ୱିତ ବିଦ୍ୟୁତ ସ୍ରୋତ ଦ୍ୱାରା ଉତ୍ସର୍ଜିତ ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରରୁ ବିକିରଣ ହୋଇଥାଏ, ଗୋଟିଏ ଆପତିତ କ୍ଷେତ୍ରର ବିଦ୍ୟୁତ ଭେକ୍ଟର ଦ୍ୱାରା ସ୍ରୋତ ଉପରେ ଯେଉଁ ବଳ କାର୍ଯ୍ୟ କରେ ତାହାର କାର୍ଯ୍ୟ ଫଳରେ ଶୋଷଣ ଘଟିଥାଏ । ତରଙ୍ଗ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀରେ, ଅନ୍ୟ ପକ୍ଷରେ, ଅଣୁ ବା ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ବିଭିନ୍ନ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥା ମଧ୍ୟରେ ସଂକ୍ରମଣ ଫଳରେ ଉତ୍ସର୍ଜନ ଓ ଶୋଷଣ ଉଭୟ ଘଟିଥାଏ ।

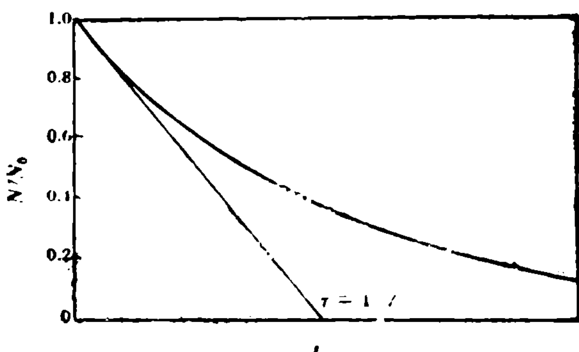
(କ) ସଂକ୍ରମଣ ସମ୍ଭାବନା ଓ ଗଡ଼ଜୀବନ : ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁର ସମସ୍ତ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥା ଗୋଟିଏ ସିରିଜ୍‌ରେ ସଂଖ୍ୟା କରି ଦିଆଯାଇ । ତେବେ, ଯଦି ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁ n ଅବସ୍ଥାରେ ରହେ, ଏହା ଏକ ସମୟ ବ୍ୟବଧାନ dt ମଧ୍ୟରେ $(E_n - E_j)/h$ ଆବୃତ୍ତିରୁ ଗୋଟିଏ ଫୋଟନ ବିକିରଣ କରି ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ଅବସ୍ଥା jକୁ ଆପେ ଆପେ

ସଂକ୍ରମିତ ହୋଇଯିବାର ଏକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ସମ୍ଭାବନା ରହିଅଛି । ଏହି ସମ୍ଭାବନାକୁ $A_{nj}\,dt$ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରାଯାଏ । ଅବସ୍ଥା n ରେ ଥିବା ବହୁ ସଂଖ୍ୟକ ପରମାଣୁ ମଧ୍ୟରୁ NA_{nj} ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ j ଅବସ୍ଥାକୁ ଡେଇଁ ଯାଆନ୍ତି ।

ଅବସ୍ଥା nରେ ଆରମ୍ଭରୁ ଥିବା N_o ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ଇତିହାସ ବିଚାର କର । ଯଦି t ସମୟ ପରେ ସେମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ Nଟି ତଥାପି ସେହି ଅବସ୍ଥାରେ ରହିଛନ୍ତି, ତେବେ dt ସମୟ ବ୍ୟବଧାନ ମଧ୍ୟରେ dN ସଂଖ୍ୟକ ପରମାଣୁ ଅପେ ଟପେ ବିକିରଣ କରି ସଂକ୍ରମିତ ହୋଇଯିବେ, ଏଠାରେ

$$dN = -N\gamma\, dt \quad \gamma = \Sigma\,(j)\ A_{nj}$$

ଏଠାରେ n ଅବସ୍ଥାରୁ ଅନ୍ୟ ଯେଉଁ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକୁ ସ୍ୱୟଂ ସଂକ୍ରମଣ ସମ୍ଭବ $\Sigma(j)$ ସେ ସମସ୍ତର ଯୋଗଫଳ ବୁଝାଉଅଛି, ଅର୍ଥାତ୍ n ଅବସ୍ଥାଠାରୁ କମ୍ ଶକ୍ତି ଥିବା ସମସ୍ତ ଅବସ୍ଥାକୁ ନେଇ ଯୋଗଫଳ । କୌଣସି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଘଟଣାରେ, ଅବଶ୍ୟ, କେତେକ A_{nj} ଶୂନ୍ୟ ହୋଇ ପାରନ୍ତି । ସମାକଳ କଲେ (ଚିତ୍ର ୧୩.୬ ଦେଖ) $N = N_o\, e^{-\gamma t}$



[ଚିତ୍ର ୧୩.୬ ବିକିରଣକାରୀ ସଂକ୍ରମଣ ଦ୍ୱାରା ଏକ୍ସପୋନେନସିୟ ହ୍ରାସ]

ଗୋଟିଏ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାରେ ଗୋଟିଏ ବିଶେଷ ପରମାଣୁ କେତେ ସମୟ ରହିପାରିବ, ସେଥିପାଇଁ କୌଣସି ପରମ ଲିମିଟ୍ ନାହିଁ । ଗୋଟିଏ ଅବସ୍ଥା nରେ ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁ ହାରାହାରି ଯେତେ ସମୟ କଟାଏ, ସେହି ସମୟ T_nକୁ ସେହି ଅବସ୍ଥାରେ

ପରମାଣୁର ଗଡ଼ ଜୀବନ କୁହାଯାଏ । ଏହ ସମୟ ପରିମାଣ ନିର୍ଦ୍ଧାରଣ କରିବା ପାଇଁ ସେହ ଅବସ୍ଥାରେ ବର୍ତ୍ତମାନ ପ୍ରବେଶ କରୁଥିବା N_o ପରମାଣୁଙ୍କ କଥା ବିଚାର କର । ତାପରେ ପ୍ରତି dt ସମୟରେ, $N\gamma\, dt$ ସଂଖ୍ୟକ ପରମାଣୁ ସେ ଅବସ୍ଥାରେ t ସମୟ ରହି ଉ ସେ ଅବସ୍ଥା ପରିତ୍ୟାଗ କରୁଛନ୍ତି । ଶେଷ ସମୀକରଣରୁ Nର ମୂଲ୍ୟ ବସାଇଲେ ଆମେ ଲେଖିପାରିବା,

$$T_n = \frac{1}{N_o}\int_0^{\infty} t\,(N_o\, e^{-\gamma t}\,\gamma\, dt)$$

$$= \gamma \int_0^{\infty} t\, e^{-\gamma t}\, dt = \frac{1}{\gamma}$$

ଅତଏବ,

$$T_n = \frac{1}{\gamma} = [\Sigma\,(j)\,A_{nj}]^{-1} \qquad (୧୩.୪୩)$$

ଦୃଶ୍ୟମାନ ବା ବାଇଗଣି ପର ବିକିରଣ ପାଇଁ ପାରମାଣିକ ଅବସ୍ଥାରେ T_n ସାଧାରଣତଃ 10^{-8}ସେ. କୋଟୀର ହୋଇଥାଏ; ଏକ୍ସରେ ଅଞ୍ଚଳରେ ଏହା ବହୁତ କମ୍ ।

(ଖ) **ଆଇନଷ୍ଟାଇନ ସହଗସବୁ:** ପରମାଣୁ ଓ ଅଣୁମାନଙ୍କ ପରି କ୍ୱାଣ୍ଟମୀକୃତ ମଣ୍ଡଳଗୁଡ଼ିକ ଲାଗି 1916 ମସିହାରେ ଆଇନଷ୍ଟାଇନ ଉତ୍ସର୍ଜନ ଓ ଶୋଷଣ ଆଲୋଚନା କରିଥିଲେ । ମନେକର

$$\nu_{nj} = \frac{E_n - E_j}{h}$$

ଆବୃତ୍ତିର ବିକିରଣ ଓ ଶୋଷଣ କରୁଥିବା ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ମଣ୍ଡଳ E_n ଓ E_j ଶକ୍ତି ଅବସ୍ଥାରେ ରହିଛନ୍ତି । (ଲକ୍ଷ୍ୟ କର ଯେ, ଏଠାରେ $E_n > E_j$) । ଏମାନେ ଗୋଟିଏ କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁ ବିକିରଣ କୋଠରୀରେ ରହିଛନ୍ତି; ଏହି ବିକିରଣରେ ν ଓ $\nu + d\nu$ ଆବୃତ୍ତି ମଧ୍ୟରେ ବିକିରଣର ଶକ୍ତି ଘନତ୍ୱ $U_\nu d\nu$ ପରିମାଣ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହେଉ । ଆଇନଷ୍ଟାଇନ ଅନୁମାନ କଲେ ଯେ, j ଅବସ୍ଥାରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ ମଣ୍ଡଳ ଗୋଟିଏ ଫୋଟନ ଶୋଷଣ କରିବାର

ସମ୍ଭାବନା $U_\nu(\nu_{nj})$କୁ ଅନୁପାତୀ; ତେଣୁ ଏହି ସମ୍ଭାବନା $B_{nj}U_\nu(\nu_{nj})$—
ଏଠାରେ B_{jn} ହେଲା ଶୋଷଣର ଆଇନଷ୍ଟାଇନ ସହଗ । n ଅବସ୍ଥାରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ ମଣ୍ଡଳ $h\nu_{nj}$ ଫୋଟନଟିଏ ବିକିରଣ କରିବାର ସମ୍ଭାବନାକୁ ପୂର୍ବୋକ୍ତ ସଂକ୍ରମଣ ସମ୍ଭାବନା A_{nj} ଓ $U_\nu(\nu_{nj})$କୁ ଅନୁପାତୀ ଏକ ପ୍ରେରିତ ସଂକ୍ରମଣ ସମ୍ଭାବନାର ଯୋଗଫଳରୂପେ ଲେଖିବା ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନଙ୍କର ଧାରଣା ଲାଗି ସମ୍ଭବ ହୋଇଥିଲା । ତେଣୁ ଉତ୍ସର୍ଜନର ସମ୍ଭାବନା ହେଲା,

$$A_{nj}+B_{nj}U_\nu(\nu_{nj})$$

ଏଠାରେ A_{nj} ଓ B_{nj} ହେଲେ ଯଥାକ୍ରମେ ସ୍ୱୟଂ ଓ ପ୍ରେରିତ ଉତ୍ସର୍ଜନର ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନ ସହଗ ।

ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ n ଅବସ୍ଥାରେ ଥିବା N_n ସଂଖ୍ୟକ ମଣ୍ଡଳ ଓ j ଅବସ୍ଥାରେ ଥିବା N_j ସଂଖ୍ୟକ ମଣ୍ଡଳ ଧ୍ରୁବ ରହିବେ । ପ୍ରତି ଏକକ ସମୟରେ nରୁ jକୁ ଘଟୁଥିବା ସଂକ୍ରମଣ ସଂଖ୍ୟା jରୁ nକୁ ଘଟୁଥିବା ସଂକ୍ରମଣ ସଂଖ୍ୟା ସହ ସମାନ ହେବ, ଏଥିରୁ ମିଳିଲା,

$$N_n[A_{nj}+B_{nj}U_\nu(\nu_{nj})]=N_j B_{jn}U_\nu(\nu_{nj})$$

ସମୀକରଣ (୪·୨୦) ଦ୍ୱାରା ଆମେ ପାଉ,

$$N_j=N_n e^{(E_n-E_j)/kT}=N_n e^{h\nu_{nj}/kT}$$

ଅତଏବ

$$U_\nu(\nu_{nj})=\frac{A_{nj}}{B_{jn}e^{h\nu_{nj}/kT}-B_{nj}} \qquad (୧୩·୪୪)$$

କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁ ବିକିରଣ ଘନତ୍ୱ ପାଇଁ ସମୀକରଣ (୧୩·୪୪) ଓ ସମୀକରଣ (୫·୨୧)ର ତୁଳନା କଲେ ଉକ୍ତ ଆଇନଷ୍ଟାଇନ ସହଗ ନିମ୍ନ ସମୀକରଣମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ସଂଯୁକ୍ତ ହେବେ,

$$B_{jn}=B_{nj} \qquad (୧୩·୪୫a)$$

$$A_{nj}=\frac{8\pi h\nu^3}{c^3}B_{nj} \qquad (୧୩·୪୫b)$$

ଆବୃତ୍ତି ν_{nj}ର ଫୋଟନ୍‌ଗୁଡ଼ିକ କେବଳ ଯେ ମଣ୍ଡଳଗୁଡ଼ିକୁ j ଅବସ୍ଥାରୁ n ଅବସ୍ଥାକୁ ନେଇଯାନ୍ତି, ତା ନୁହେଁ; ସେମାନେ n ଅବସ୍ଥାରେ ଥିବା ମଣ୍ଡଳଗୁଡ଼ିକୁ j ଅବସ୍ଥାକୁ ସଂକ୍ରମିତ ହେବାପାଇଁ ପ୍ରେରଣା ଦିଅନ୍ତି । ଏହି ଧାରଣା ଆଧୁନିକ ପ୍ରଯୁକ୍ତି ବିଦ୍ୟାରେ ବହୁ ଭାବରେ ବ୍ୟବହୃତ ହେଉଅଛି । ଲେସର ଓ ମାସର ରଶ୍ମି ଗୁଚ୍ଛରେ ମିଳୁଥିବା ବହୁ ପରିମାଣରେ ତୀବ୍ରତା ଓ ସଙ୍ଗତ, ତାପୀୟ ସାମ୍ୟାବସ୍ଥା ମୂଲ୍ୟଠାରୁ ବହୁ ଅଧିକ ଉପଯୁକ୍ତ ଶକ୍ତି ଅବସ୍ଥାରେ ରହିବା ସଂଖ୍ୟା ବଢ଼ାଇ ଓ ଯୁଗପତ୍ ଭାବରେ ନିମ୍ନତର ସ୍ତରକୁ ସଂକ୍ରମଣ ଘଟି ସମ୍ଭବ ହୋଇଥାଏ ।

ପରିଶିଷ୍ଟ ୧୩(କ) ହାର୍ମନିକ ଦୋଳକ

ହାର୍ମନିକ ଦୋଳକ ପାଇଁ ଶ୍ରୋଡିଞ୍ଜର ସମୀକରଣ (୧୩·୨୨)

$$\frac{d^2\psi}{dx^2} = \frac{2m}{\hbar^2}\left(\tfrac{1}{2}\beta x^2 - E\right)\psi$$

$$= \left(\frac{m\beta}{\hbar^2} - \frac{2mE}{\hbar^2}\right)\psi \qquad (୧୩କ·୧)$$

ଆକାରରେ ଲେଖାଯାଇ ପାରିବ । ଆମେ ବର୍ତ୍ତମାନ ଏଥିରେ

$$y = \sqrt[4]{\frac{m\beta}{\hbar^2}}\, x = \alpha x \qquad (୧୩କ·୨କ)$$

$$\epsilon = \frac{2E}{\hbar}\sqrt{\frac{m}{\beta}} \qquad (୧୩କ·୨ଖ)$$

ବସାଇ

$$\frac{d^2\psi}{d^2y^2} = (y^2 - \epsilon)\psi \qquad (୧୩କ·୩)$$

ବିମିତିହୀନ ସମୀକରଣ ପାଇବା ।

yର ଯଥେଷ୍ଟ ଅଧିକ ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ, $y^2 >> \in$, ଓ ସମୀକରଣ (୧୩କ'୩)କୁ ଆମେ ଆସିମ୍ପ୍‌ଟୋଟିକ୍ ଆକାରରେ $\frac{d^2\psi}{dy^2} = y^2\psi$, ଲେଖି ପାରିବା । ଏହି ସମୀକରଣ $\psi = e^{\mp y^2/2}$ ଦ୍ୱାରା ସନ୍ତୁଷ୍ଟ ହେବ । ପ୍ରକୃତରେ କରିବାର ସର୍ତ୍ତ ସନ୍ତୁଷ୍ଟ କରିବା ପାଇଁ y ଅନନ୍ତର ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ ହେବାବେଳେ ψ ଲୋପ ପାଇଯିବ; ଅତଏବ ଆମେ ଯୁକ୍ତ ଚିହ୍ନ ପରିହାର କରିବା ଓ ସମୀକରଣ (୧୩କ'୩)ର ଗୋଟିଏ ସଠିକ ସମାଧାନ $\psi(y) = C e^{-y^2/2}\ H(y)$ ଆକାରରେ ଖୋଜିବା, ଏଠାରେ $H(y)$ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରିବାକୁ ଥିବା ଗୋଟିଏ ଫଳନ ଓ C ଏକ ପ୍ରକୃତରେ କରିବା ଧ୍ରୁବ । ସମୀକରଣ (୧୩କ'୩)ରେ ଏହାକୁ ବସାଇଲେ ଜଣାଯାଉଛି ଯେ, $H(y)$ ନିମ୍ନସ୍ଥ ନିମ୍ନଦତ୍ତ ସମୀକରଣକୁ ସନ୍ତୁଷ୍ଟ କରିବ;

$$\frac{d^2 H}{dy^2} - 2y\frac{dH}{dy} + (\in - 1)\ H = 0 \qquad (୧୩କ'୪)$$

$H(y)$କୁ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରିବାର ଗୋଟିଏ ବାଟ ହେଲା, ଏହା y ର ଗୋଟିଏ ଶକ୍ତି ସିରିଜ୍ ଆକାରରେ ଲେଖାଯାଇ ପାରିବ;

$$H(y) = a_0 + a_1 y + a_2 y^2 + \cdots\cdots = \sum_{n=0}^{\infty} a_n y^n \qquad (୧୩କ'୫)$$

ଏଠାରେ a ଗୁଡ଼ିକ ଧ୍ରୁବ ସହଗ, ଏଗୁଡ଼ିକର ମୂଲ୍ୟ ସ୍ଥିର କରିବାକୁ ହେବ । ସମୀକରଣ (୧୩କ'୫)କୁ ସମୀକରଣ (୧୩'୪)ରେ ବସାଇଲେ ମିଳିବ,

$$\sum_{n=0}^{\infty} y^n[(n+1)(n+2)\,a_{n+2} - 2na_n + (\in - 1)a_n] = 0$$

[୧୩କ'୬]

ଏହା yର ପ୍ରତ୍ୟେକ ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ ସତ୍ୟ ହେବ, ଯଦି ପ୍ରସାରରେ ପ୍ରତି ସହଗ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ରଭାବରେ ଶୂନ୍ୟ ହୁଅନ୍ତି, ବା

$$a_{n+2} = \frac{2n+1-\in}{(n+1)(n+2)}a_n \qquad [୧୩କ'୭]$$

ଏହି recursion ସୂତ୍ର $H(y)$କୁ ଦୁଇଟି ସ୍ଵତନ୍ତ୍ର ସାହାଯ୍ୟରେ (ଯଥା a_o ଓ a_1) ଲେଖିବା ସମ୍ଭବ କରୁଛି । ତେବେ ବି, ପ୍ରକୃତରେ ହେବା ପାଇଁ $\int_{-\infty}^{\infty} \psi^* \psi dy = 1$ କେବଳ nର କୌଣସି ମୂଲ୍ୟଠାରେ H (y) ଶେଷ ହୋଇଗଲେ (ପ୍ରଶ୍ନ - ୧୨) ସନ୍ତୁଷ୍ଟ ହେବ । ଯଦି ଦୁଇଟି ସର୍ତ୍ତ ପୂରଣ ହୁଏ, ତେବେ ଏହା ଘଟିବ;

୧ । ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ n ପାଇଁ, $a_{n+2}=0$; ଏହା ହେବ ଯଦି

$$2n+1 = \in = \frac{2E}{\hbar}\sqrt{\frac{m}{\beta}}$$ ହୁଏ ।

୨ । ଯଦି ସର୍ତ୍ତ 1ର n ଅଯୁଗ୍ମ ହୁଏ, a_o ନିଶ୍ଚୟ ଶୂନ୍ୟ ହେବ; ଯଦି ଏହି n ଯୁଗ୍ମ ହୁଏ; a_1 ନିଶ୍ଚୟ ଶୂନ୍ୟ ହେବ ।

ସର୍ତ୍ତ ୧ ଦୋଳକର ଅନୁମିତ ଶକ୍ତି ମୂଲ୍ୟଗୁଡ଼ିକୁ $E_n=(n+\frac{1}{2})\hbar\sqrt{\beta/m}$ ଦ୍ଵାରା ପ୍ରକାଶିତ ଶକ୍ତି ମୂଲ୍ୟକୁ ଆବଦ୍ଧ କରି ଦେଉଛି । ହାର୍ମୋନିକ ଦୋଳକର ସ୍ଵାଭାବିକ ଆବୃତ୍ତି ହେଲା; $\nu=\sqrt{\beta/m}/2\pi$; ତେଣୁ ଅନୁମିତ ଶକ୍ତିଗୁଡ଼ିକ ହେଲା;

$$E_n=(n+\tfrac{1}{2})\,h\nu \qquad (୧୩୦୮)$$

ସର୍ତ୍ତ ଅଇଗେନ ଫଳନ ψ_nକୁ yର ଅଯୁଗ୍ମ ବା ଯୁଗ୍ମ ଫଳନକୁ ଆବଦ୍ଧ କରି ଦେଉଛି । $H_n\, y$ କୁ ହାର୍ମିଟ୍ ବହୁପଦୀକ କୁହାଯାଏ । n ଯୁଗ୍ମ ବା ଅଯୁଗ୍ମ ହେବା ଅନୁସାରେ ଏଗୁଡ଼ିକ ଯୁଗ୍ମ ବା ଅଯୁଗ୍ମ ହେବେ । ଏଗୁଡ଼ିକ ବ୍ୟାପକ ଫଳନ

$$S(y,s)=e^{-s^2+2sy}=\sum_{n=0}^{\infty}\frac{H_n(y)}{n!}s^n \qquad (୧୩୦୯)$$

ରୁ ମିଳିପାରିବ ବା ଅନ୍ୟ ଉପାୟରେ

$$H(y)=(-1)^n e^{y^2}\frac{d^n(e^{-y^2})}{dy^n} \qquad (୧୩୦.୧୦)$$

ରୁ ମିଳିପାରିବ ।

ପରିଶିଷ୍ଟ ୧୩(ଖ) ଅର୍ଥୋଗନାଲିଟି ସମ୍ବନ୍ଧର ପ୍ରମାଣ

$\psi_n(x)$ ଓ $\psi_j(x)$ ଶ୍ରୋଡ଼ିଙ୍ଗର ତରଙ୍ଗ ସମୀକରଣର ପ୍ରକୃତସ୍ଥ ଆଇଗେନ ଫଳନ ହୁଅନ୍ତୁ, ତେବେ

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2\psi_n}{dx^2}+P\psi_n=E_n\ \psi_n \qquad (୧୩ଖ.୧କ)$$

$$-\frac{\hbar}{2m}\cdot\frac{d^2\psi_j}{dx^2}+P\psi_j=E_j\ \psi_j \qquad (୧୩ଖ.୧ଖ)$$

ଏହି ଦୁଇ ସମୀକରଣରେ କେବଳ ବୋଧହୁଏ ଆଇଗେନ ଫଳନଗୁଡ଼ିକୁ ଛାଡ଼ିଦେଲେ ଅନ୍ୟ ସବୁ ପ୍ରକୃତ ହୋଇଥିବାରୁ, ψ_jର ଜଟିଳ ସଂଯୁଗ୍ମୀ (Complex conju gate)

$$\frac{\hbar^2}{2m}\frac{d^2\psi_j^*}{dx^2}+P\psi_j^*=E_j\ \psi_j^* \qquad (୧୩ଖ.୨)$$

ସମୀକରଣଟିକୁ ମାନିବ । ଯଦି ଆମେ ସମୀକରଣ (୧୩ଖ.୧କ) ψ_j^* ଦ୍ୱାରା ଓ (୧୩ଖ.୨)କୁ ψ_n ଦ୍ୱାରା ଗୁଣନ କରିବା ଓ ବିୟୋଗ କରିବା, ଆମେ ପାଇବା

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\left(\psi_j^*\frac{d^2\psi_n}{dx^2}-\psi_n\ \frac{d^2\psi_j^*}{dx}\right)$$
$$+P(\psi_j^*\psi_n-\psi_n\ \psi_j^*)=(E_n-E_j)\psi_j^*\psi_n$$
$$(୧୩ଖ.୩)$$

ଯଦି ଆମେ ଉଭୟ ପକ୍ଷକୁ $x=-\infty$ରୁ $x=\infty$ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ସମାକଳ କରିବା, ଆମେ ପାଇବା

$$\int_{-\infty}^{\infty}\left(\psi_j^*\frac{d^2\psi_n}{dx^2}-\psi_n\frac{d^2\psi_j^*}{dx^2}\right)dx$$

$$=\int_{-\infty}^{\infty}\frac{d}{dx}\left(\psi_j^*\frac{d\psi_n}{dx}-\psi_n\frac{d\psi_j^*}{dx}\right)dx$$

$$=-\frac{2m}{\hbar^2}(E_n-E_j)\int_{-\infty}^{\infty}\psi_j^*\psi_n\,dx \text{ ବା}$$

$$\left[\psi_j^*\frac{d\psi_n}{dx}-\psi_n\frac{d\psi_j^*}{dx}\right]_{-\infty}^{\infty}=\frac{2m}{\hbar^2}(E_j-E_n)\int_{-\infty}^{\infty}\psi_j^*\psi_n\,dx$$

ପ୍ରତ୍ୟକ୍ଷ କରିବା ସର୍ତ୍ତ ଦରକାର କରୁଛୁ ଯେ, ψ_n ଓ ψ_j^*, $x=\pm\infty$ ଠାରେ ଶୂନ୍ୟ ହୁଅନ୍ତି; ସେଥିପାଇଁ $\int_{-\infty}^{\infty}\psi_j^*\psi_n\,dx=0$ ଯଦି $E_j\neq E_n$ । ଯଦି ψ_j ଓ ψ_n ବକାଶୀ ହୁଅନ୍ତି ଓ $E_j=E_n$ ହୁଏ, ଅବସ୍ଥାଟି ଅଧିକ ଜଟିଳ ହେବ; ହେଲେ ବି ସର୍ବଦା ବକାଶୀ ଆଇଗେନ ଫଳନଗୁଡ଼ିକୁ ଅର୍ଥୋଗନାଲ୍ କରିବା ସମ୍ଭବ ।

ପ୍ରଶ୍ନାବଳୀ

୧। ଗୋଟିଏ ଅନନ୍ତ ଗଭୀର ବର୍ଗକୂପର କେନ୍ଦ୍ରରେ ମୂଳବିନ୍ଦୁକୁ ନେଇ ଓ $-L/2 \leq x \leq L/2$ ପାଇଁ $P=0$ ନେଇ କୂପ ସମସ୍ୟାଟିକୁ ସମାଧାନ କର । ଦେଖାଅ ଯେ, ସମାଧାନଗୁଡ଼ିକର ଏକାନ୍ତରକ୍ରମେ ଯୁଗ୍ମ ଓ ଅଯୁଗ୍ମ ପାରିଟି ରହିବ । ପ୍ରମାଣ କର ଯେ, ଶକ୍ତିର ଆଇଗେନ ମୂଲ୍ୟଗୁଡ଼ିକ ସମୀକରଣ (୧୩.୮) ଦ୍ୱାରା ଦତ୍ତ ମୂଲ୍ୟଗୁଡ଼ିକ ସହ ସମାନ ।

୨। ଅପରେଟର (କ) $x \dfrac{d}{dx}$ ଓ $x^2\, d/dx$ (ଖ) ଶକ୍ତି $\widehat{E}$ ଓ ସମୟ tର କମ୍ୟୁଟେଟର ବାହାର କର ।

୩। (କ) 1 ସେ. ମି. ପାର୍ଶ୍ୱ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ଘନାକାର ବାକ୍ସରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ପାଇଁ ପାଞ୍ଚୋଟି ଅନୁମିତ୍ତ ନ୍ୟୂନତମ ଶକ୍ତି ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

(ଖ) ଉକ୍ତ ପ୍ରଶ୍ନ 3A° ବିଶିଷ୍ଟ ଘନାକାର ବାକ୍ସରେ ସମାଧାନ କର (ଲକ୍ଷ୍ୟ କର ଯେ ଗୋଟିଏ କଠିନ ବସ୍ତୁରେ ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁ ଦ୍ୱାରାଦ୍ୱାରା ଏତିକି ଘନ ମୋଟାମୋଟି ସ୍ଥାନରେ ପାଇଥାଏ) ।

ଆଂଶିକ ଉତ୍ତର (କ) $E_{111} = 1{\cdot}13 \times 10^{-14}\, eV$, $E_{222} = 4{\cdot}53 \times 10^{-14} eV$

(ଖ) $E_{111} = 12{\cdot}6 eV$.

୪। $0 \leq x \leq L$ ବ୍ୟବଧାନ ମଧ୍ୟରେ ଅପରେଟର $\dfrac{d^2}{dx^2}$ର ଆଇଗେନ ମୂଲ୍ୟ ଓ ଆଇଗେନ ଫଳନ ବାହାର କର; ଏହା ଯେଉଁ $u_1(x)$ ଫଳନ ଉପରେ କାମ କରେ, ତାହା ସୀମା ସର୍ତ୍ତ, $x=0$ ଠାରେ $\dfrac{du}{dx}=0$ ଓ $x=L$ ଠାରେ $u=0$, ପାଳନ କରେ ବୋଲି ଧରନିଅ ।

୫ । ଦେଖାଅ ଯେ $u(x) = Ae^{-\alpha x}$,

$$\hat{C} = \frac{d^2}{dx^2} + \frac{2}{x}\frac{d}{dx} + \frac{2b}{x}$$

ଅପରେଟରର ଗୋଟିଏ ଆଇଗେନ ଫଳନ ଓ ଅନୁରୂପ ଆଇଗେନ ମୂଲ୍ୟ ସ୍ଥିର କର ।

ଉତ୍ତର : b^2

୬ । (କ) ଯଦି ହାମିଲ୍‌ଟନୀୟ ଅପରେଟର ବଭିନ୍ନ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ସେଟ୍ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରୁଥିବା ପଦମାନଙ୍କର ଯୋଗଫଳ ରୂପରେ ଲେଖାଯାଏ, ଯଥା –

$$\hat{H} = \hat{H}_a(x_1, y_1, z_1) + \hat{H}_b(x_2, y_2, z_2) + \hat{H}_c(r, \theta, \phi)$$
$+ \cdots\cdots$, ଆଇଗେନଫଳନଗୁଡ଼ିକ

$$\psi = \psi_a(x_1, y_1, z_1)\, \psi_b(x_2, y_2, z_2)\, \psi_c(r, \theta, \phi) -$$

ପଦଗୁଡ଼ିକର ଗୁଣଫଳ ଆକାରରେ ଲେଖାଯାଇପାରେ ବୋଲି ଦେଖାଅ ।

(ଖ) ପୁଣି ଦେଖାଅ ଯେ ψର ଅନୁରୂପ ଶକ୍ତି $E_a + E_b + E_c + \cdots\cdots$ ହେବ; ଏଠାରେ E_a ହେଲା ψ_a ସହିତ ସମ୍ପୃକ୍ତ ଶକ୍ତିର ଆଇଗେନ ମୂଲ୍ୟ ଇତ୍ୟାଦି ।

୭ । ଗୋଟିଏ ବର୍ଗକୂପରେ m ବସ୍ତୁତ୍ୱବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ କଣିକା ଆବଦ୍ଧ ହୋଇଅଛି । ବର୍ଗକୂପଟିର ଉଚ୍ଚତା P_0 ଓ ପ୍ରସ୍ଥ W । ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାର ଆଇଗେନ ଫଳନ – $W/2 \le x \le W/2$ ପାଇଁ

$$\psi(x) = \beta \cos\left(\frac{4\pi x}{5W}\right)$$

ଦ୍ୱାରା ଓ କୂପ ବାହାରେ $\psi = Ae^{-|\alpha x|}$ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୁଏ ।

(କ) m ଓ Wର ଦତ୍ତ ମୂଲ୍ୟ ନେଇ α, E ଓ P_0 ବାହାର କର । E_1ର ମୂଲ୍ୟ ଅନନ୍ତକୂପ ପାଇଁ ତତ୍ତୁଲ୍ୟ ମୂଲ୍ୟ ସହ ତୁଳନା କର ।

(ଖ) Aକୁ B ଓ ଦତ୍ତରାଶିମାନଙ୍କ ସାହାଯ୍ୟରେ ପ୍ରକାଶ କର ।

(ଗ) ଯେଉଁ ସମୀକରଣରୁ B ହିସାବ କର ହେବ, ତାହା ଲେଖ ।

ଉତ୍ତର : (କ) $7{\cdot}72/W$, $2{\cdot}h^2/25mW^2$, $21h^2/25mW^2$ (ଖ) 14·7B.

୮ । m ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ କଣିକା $x<0$ ପାଇଁ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି $P(x)=\infty$ ଓ $x\leq 0$ ପାଇଁ $\frac{1}{2}\beta x^2$ରେ ଗତି କରୁଅଛି । ଆଇଗେନ ଫଳନଗୁଡ଼ିକ ଓ ଅନୁମିତ ଶକ୍ତିଗୁଡ଼ିକ ବାହାର କର ।

୯ । ଗୋଟିଏ ହାର୍ମୋନିକ ଦୋଳକର ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ଗତିଜ ଓ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତିମାନଙ୍କର ଆଶା କରାଯିବା ମୂଲ୍ୟ ବାହାର କର ।
ଉତ୍ତର : $h\nu/4$, $h\nu/4$.

୧୦ । ଗୋଟିଏ ତ୍ରିବିମିତିକ ହାର୍ମୋନିକ ଦୋଳକ ବିଭବ $P(x, y, z)=\frac{1}{2}mw^2(x^2+y^2+z^2)$ରେ ଗତି କରୁଅଛି । ଶ୍ରୋଡ଼ିଞ୍ଜର ସମୀକରଣକୁ ବିଶ୍ଲେଷଣ କର ଓ ଦେଖାଅ ଯେ ଅନୁମିତ ଶକ୍ତିଗୁଡ଼ିକ $E=(n+\frac{3}{2})\hbar w$ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହେବ ।

୧୧ । $u(x)=x\,e^{-x^2/2}$, $\frac{d^2}{dx^2}-x^2$ର ଗୋଟିଏ ଆଇଗେନ ଫଳନ କି ? ଯଦି ଏହା ହୁଏ, ଅନୁରୂପ ଆଇଗେନ ମୂଲ୍ୟ ବାହାର କର ।

୧୨ । ଯଦି nର କୌଣସି ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ $H(y)$ ଶେଷ ହୋଇ ନଯାଏ, $y\to\infty$ ପାଇଁ

$$\psi=e^{-y^2/2}\sum_{n=0}^{\infty}a_n y^n$$

ଅନନ୍ତର ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ ହେବ ବୋଲି ଦେଖାଅ ।

ସୂଚନା : yର ବଡ଼ ବଡ଼ ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ $H(y)$ଟି e^{y^2} ପରି ବ୍ୟବହାର କରେ ବୋଲି ଦେଖାଅ ।

୧୩ । ଦେଖାଅ ଯେ, ଯେତେବେଳେ $\psi(x,t)=\Sigma a_n\psi_n(x,t)$ $\langle E\rangle=\Sigma a_n^* a_n E_n$ ହେବ । ତେଣୁ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଶକ୍ତି Eକୁ ମାପ କରିବାରେ ଗୋଟିଏ ପରିମାପର ମୂଲ୍ୟ E_n ହେବାର ସମ୍ଭାବନା $a_n^*a_n$ ଓ ସେହି କାରଣରୁ ଏହା କଣିକାଟିର n ଆଇଗେନ ଅବସ୍ଥାରେ ପାଇବାର ସମ୍ଭାବନା ଦେବ ।

୧୪ । ଗୋଟିଏ କଣିକା ବିଭବ $P(x, y) = P_0(x) + P_1(y)$ର ପ୍ରଭାବରେ x ଓ y ତଳରେ ଗତ କରିବାକୁ ବାଧ୍ୟ ହୋଇଅଛି; ଏଠାରେ $P_0(x) = \beta x^2/2$ ଏବଂ $-a \leq y \leq a$ ପାଇଁ $P_1(y) = 0$ ଓ $y < -a$ ଓ $y > a$ ପାଇଁ $P_1(y) = \infty$

(କ) ଶ୍ରୁଡ଼ିଞ୍ଜର ତରଙ୍ଗ ସମୀକରଣକୁ ସମାଧାନ କରି ଆଇଗେନ ଫଳନଗୁଡ଼ିକୁ ବାହାର କର ।

(ଖ) କଣିକାଟି ପାଇଁ ଅନୁମିତ ଶକ୍ତିଗୁଡ଼ିକ ବାହାର କର ।

୧୫ । ଅବସ୍ଥାନ x ଓ ସଂବେଗ P_xର ଗୁଣଫଳର ଆଶା କରାଯିବା ମୂଲ୍ୟ ହିସାବ କରିବାର ଇଚ୍ଛା ଅଛି । ଦେଖାଅ ଯେ

$$\langle x P_x \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} \psi^* x \left(\frac{\hbar}{i} \frac{\partial}{\partial x} \right) \psi \, dx$$

$$\text{ବା } \langle x P_x \rangle \int_{-\infty}^{\infty} \psi^* \left(\frac{\hbar}{i} \frac{\partial}{\partial x} \right) x \psi \, dx$$

କୌଣସିଟି ଗ୍ରହଣୀୟ ନୁହେଁ କାରଣ ଏ ଉଭୟେ କାଳ୍ପନିକ ମୂଲ୍ୟ ସବୁ ଦେଉଛନ୍ତି । ଦେଖାଅ ଯେ,

$$\langle x P \rangle = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} \psi^* \left[x \left(\frac{\hbar}{i} \frac{\partial}{\partial x} \right) + \left(\frac{\hbar}{i} \frac{\partial}{\partial x} \right) x \right] \psi \, dx\text{ର}$$

ଗୋଟିଏ ପ୍ରକୃତ ମୂଲ୍ୟ ଅଛି । $\langle x P \rangle = \langle x \rangle \langle P \rangle$ ହେବ କି ?

ସୂଚନା : ଅଂଶ ଅଂଶ କରି ସମାକଳନ କର ।

୧୬ । ଗୋଟିଏ ଅନନ୍ତ ବର୍ଗକୂପର $-L/2 \leq x \leq L/2$ ପାଇଁ $P = 0$ ଓ ଅନ୍ୟତ୍ର $P = \infty$ । ଏଥିରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଆବଦ୍ଧ ହୋଇ ରହିଅଛି । ଯଦି କୌଣସି ସମୟରେ କଣିକାଟି $|x| < L/2$ ପାଇଁ $\psi(x) = \sqrt{2/L}$ ଦ୍ୱାରା ଓ $|x| > L/2$ ପାଇଁ $\psi(x) = 0$ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ଅବସ୍ଥାରେ ଥାଏ, ଏହାର ଶକ୍ତିର ଗୋଟିଏ ପରମାପ (କ) $h^2/8mL^2$ ଓ (ଖ) $h^2 2mL^2$ ମୂଲ୍ୟ ହେବାର ସମ୍ଭାବନା ହିସାବ କର ।

୧୭ । ଗୋଟିଏ ପ୍ରୁଟନ ସରଳ ହାର୍ମୋନିକ ଦୋଳକର ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି $P(x) = \frac{1}{2}\beta x^2$ ରେ ଗୋଟିଏ କଣିକା ରହିଅଛି । ଯଦି କଣିକାଟି ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ଥାଏ, ତେବେ ଏହାର ଗତିର ପ୍ରୁଟନ ଲିମିଟର ବାହାରେ କଣିକାଟିକୁ ପାଇବାର ସମ୍ଭାବନା ହିସାବ କର ।

ଉତ୍ତର : 0·16

୧୮ । ଗୋଟିଏ ଏକବିମିତିକ ମଣ୍ଡଳରେ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ପରୀକ୍ଷା କେଲା ଫଳରେ $-L \leq x \leq L$ ପାଇଁ ତରଙ୍ଗ ଫଳନ $\psi(x) = A \sin \pi x/L$ ଓ ଅନ୍ୟତ୍ର ଏହା ଶୂନ୍ୟ ହେଲା ।

(କ) ପ୍ରକୃତିସ୍ଥ କରିବା ଧ୍ରୁବ A ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

(ଖ) ମଣ୍ଡଳଟିର ସଂବେଗ P_x ର ଗୋଟି ପରୀକ୍ଷାର ମୂଲ୍ୟ P_n ହେବାର ସମ୍ଭାବନା ହିସାବ କର, ଏଠାରେ P_n ମଣ୍ଡଳଟିର ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ସଂବେଗ । ସମ୍ଭାବନା ଓ $P_nL/\hbar$ କୁ ନେଇ ଗ୍ରାଫ ଅଙ୍କନ କର ଓ ଦେଖାଅ ଯେ, $\Delta P_x \Delta x \approx \hbar$ ।

(ଗ) $\langle P \rangle$ ଆଶା କରାଯିବା ମୂଲ୍ୟ ହିସାବ କର ଓ (ଖ)ରେ ମିଳିଥିବା ଗ୍ରାଫ ସହିତ ତୁଳନା କର ।

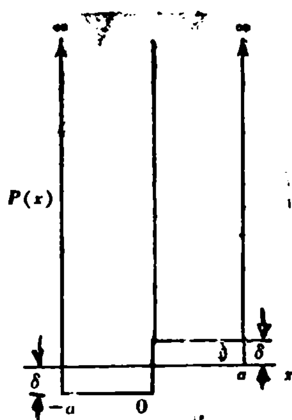
୧୯ । ଦେଖାଅ ଯେ,

(କ) $y H_n(y) = n H_{n-1}(y) + \frac{1}{2} H_{n+1}(y)$

(ଖ) $dH_n(y)/dy = 2n H_{n-1}(y)$ ଓ

(ଗ) $dH_n(y)/dy = 2y H_n(y) - H_{n+1}(y)$

୨୦ । ଗୋଟିଏ କଣିକା ଉପରେ $-a \leq x \leq 0$ ପାଇଁ $P(x) = -\delta$ ଓ $0 < x \leq a$ ପାଇଁ $P(x) = \delta$ (ଚିତ୍ର ୩.୭) । ଏଥିରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗତି କରୁଅଛି । ପ୍ରଥମ କୋଟୀର ଅଲୋଡ଼ନ ତତ୍ତ୍ୱ ବ୍ୟବହାର କରି ପ୍ରଥମ ବ୍ରେଟି ଶକ୍ତି ସ୍ତର ହିସାବ କର । ସର୍ବନିମ୍ନ ଶକ୍ତି ଅବସ୍ଥାର ପ୍ରଥମ କୋଟୀର ପ୍ରସାରଣ ସହଗଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ ସୂତ୍ର ଲେଖ ।



[ଚିତ୍ର ୭]

୨୯ । ଚିତ୍ର ୧୩.୮ରେ ଦେଖାଯାଇଥିବା ବିଭବ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଗୋଟିଏ କଣିକା ରହିଅଛି ।

(କ) ଶ୍ରୋଡିଙ୍ଗରଙ୍କ ତରଙ୍ଗ ସମୀକରଣ ସମାଧାନ କର ଓ ବଦ୍ଧ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକର ଅଭିଲକ୍ଷଣ ଫଳନଗୁଡ଼ିକ ବାହାର କର ।

(ଖ) ପ୍ରମାଣ କର ଯେ ବଦ୍ଧ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକର ଆଇଗେନ ଶକ୍ତିଗୁଡ଼ିକ ହେଉଛି ସମୀକରଣ $-R = k \cot kL$ର ସମାଧାନ ସବୁ. ଏଠାରେ $k = \sqrt{2mE/\hbar}$ ଓ

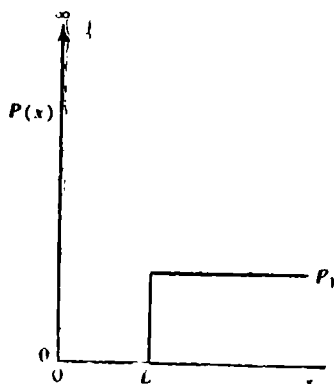
$R = \sqrt{2m(P_1 - E)/\hbar}$

(ଗ) ଅନ୍ତତଃ ପକ୍ଷେ ଗୋଟିଏ ମାତ୍ର ବଦ୍ଧ ଅବସ୍ଥା ଥିଲେ P_1 ଉପରେ କେଉଁ ସର୍ତ୍ତ ଆରୋପ କରିବାକୁ ହେବ ?

୩୦ । ପ୍ରମାଣ କର ଯେ, ଧର୍ମିତ ଫଳନ $\psi_n = N_n e^{-y^2/2} H_n(y)$ ଗୁଡ଼ିକ ଅନୁଲମ୍ବ-ଗଣାଳ; ଦେଖାଅ ଯେ, ଯେଉଁ ପ୍ରକୃତରେ କହିବା ଧ୍ରୁବ

$$\int_{-\infty}^{\infty} \psi_n^2 (x)\, dx = 1 \text{ ହେଲେ, ତାହା}$$

$$N_n = \left(\frac{\alpha}{\sqrt{\pi}\, 2^n n!} \right)$$



[ଚିତ୍ର ୮]

୧୩ । ପ୍ରମାଣ କର ଯେ, $n=m\pm1$ ହେଲେ ହାର୍ମୋନିକ ଦୋଳକ ପାଇଁ $\langle x\rangle_{nm}=0$, ତେଣୁ କେବଳ ପାଖାପାଖି ଶକ୍ତିସ୍ତରମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସଂକ୍ରମଣ ଘଟିଥାଏ । ଦେଖାଅ ଯେ ଯେତେବେଳେ $\langle x\rangle_{n,n-1}=\sqrt{n/2\alpha^2}$, $\langle x\rangle_{n,n+1}=\sqrt{[n+1]/2\alpha^2}$

୧୪ । ଦେଖାଅ ଯେ ଗୋଟିଏ ହାର୍ମୋନିକ ଦୋଳକର nତମ ଆଇଗେନ ଅବସ୍ଥାରେ

$$\Delta x\ \Delta P_x=[n+\tfrac{1}{2}]\hbar,$$

ଏଠାରେ ବ୍ୟବହୃତ Δx ଓ ΔP_xର ସଂଜ୍ଞା ଅନୁ' ୧୨·୬ରେ ଦିଆଯାଇଅଛି ।

ଚତୁର୍ଦ୍ଦଶ ଅଧ୍ୟାୟ

ତରଙ୍ଗ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ—III

ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁ

ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁର ଗଠନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଧାରଣା କରିବା ଅତ୍ୟନ୍ତ ଗୁରୁତ୍ୱପୂର୍ଣ୍ଣ; ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ସରଳତମ ପରମାଣୁ ଓ ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଦ୍ୱାରା ଆଲୋଚିତ ହେବା ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରଥମ ହୋଇଥିବାରୁ ଏହାର ଗୁରୁତ୍ୱ ଯେତେ ନୁହେଁ, ଅଧିକ ଜଟିଳ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ହାଇଡ୍ରୋଜେନୀୟ ତରଙ୍ଗଫଳନଗୁଡ଼ିକ ଉପରେ ଭିତ୍ତି କରି ଗଢ଼ା ଯାଉଥିବାରୁ ଏହାର ଗୁରୁତ୍ୱ ତାଠାରୁ ଅଧିକ । ବୋମର ସୂତ୍ର ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ଦୃଶ୍ୟମାନ ରେଖାଗୁଡ଼ିକର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ଦେଇଥିଲା, ବୋର୍ ମଡ଼େଲ ଶକ୍ତି ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ଓ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର ରେଖାମାନଙ୍କ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଅଧିକ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଉତ୍ତର ଦେବାକୁ ସମର୍ଥ ହୋଇଥିଲା; କିନ୍ତୁ କେହି ଅନ୍ୟ ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ଗଠନ ଓ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ସମ୍ବନ୍ଧରେ ବ୍ୟବହାରସାପେକ୍ଷ ମୂଳ ଭିତ୍ତି ଦେଇ ପାରି ନଥିଲେ ।

14·1 ଗୋଟିଏ ଏକ-ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପରମାଣୁ ପାଇଁ ଶ୍ରୁଡ଼ିଞ୍ଜରର ସମୀକରଣ :

ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଓ ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନ ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଆକର୍ଷଣ ଦ୍ୱାରା ବାନ୍ଧି ହୋଇ ରହି ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁ ଗଠିତ ହୋଇଥାଏ । ସେହିପରି ଗୋଟିଏ ଆୟନୀଭୂତ ହିଲିୟମ ପରମାଣୁ ଓ ଗୋଟିଏ ଦ୍ୱିବାର ଆୟନୀଭୂତ ଲିଥିୟମ ପରମାଣୁ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ଯୁକ୍ତ ନାଇକ୍ଲିୟସ ଓ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନକୁ ନେଇ

ଗଠିତ । ଯଦି କଣିକାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଦୂରତା r ହୁଏ, ମଣ୍ଡଳଟି ପାଇଁ ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି P ହେବ,

$$P = -\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r} \qquad (୧୪'୧)$$

ଏଠାରେ Ze = ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ଚାର୍ଜ

$-e$ = ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଚାର୍ଜ

ϵ_0 = ଶୂନ୍ୟ ସ୍ଥାନର ଗ୍ରାହ୍ୟତା

M ଓ m ଯଥାକ୍ରମେ (x_1, y_1, z_1)ଠାରେ ଥିବା ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ଓ (x_2, y_2, z_2) ଠାରେ ଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ହେଉ । ଏହି ଦ୍ୱି କଣିକା ମଣ୍ଡଳ ପାଇଁ ଶ୍ରୋଡିଞ୍ଜର ସମୀକରଣ ହେଲା,

$$-\frac{\hbar^2}{2M}\left(\frac{\partial^2\psi_T}{\partial x_1^2}+\frac{\partial^2\psi_T}{\partial y_1^2}+\frac{\partial^2\psi_T}{\partial z_1^2}\right)$$

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\left(\frac{\partial^2\psi_T}{\partial x_2^2}+\frac{\partial^2\psi_T}{\partial y_2^2}+\frac{\partial^2\psi_T}{\partial z_2^2}\right)+P\psi_T \quad E\psi_T$$

ଏଠାରେ ψ_T ହେଲା $x_1, y_1, z_1, x_2, y_2, z_2$ର ଗୋଟିଏ ଫଳନ, ψ_T ଓ E_Tର ପରଲେଖ T ଅର୍ଥାତ୍ ସମଗ୍ର (Total)—ଏହି ରାଶିଗୁଡ଼ିକ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ଓ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନକୁ ନେଇ ଗଠିତ ସମସ୍ତ ମଣ୍ଡଳ ପାଇଁ ବୋଲି ସୂଚିତ କରନ୍ତି । ଆମେ ବର୍ତ୍ତମାନ ଛଅଟି ଚଳଙ୍କ ବଦଳରେ ବସ୍ତୁତ୍ୱ କେନ୍ଦ୍ର ପ୍ରଣାଳୀରେ ତିନୋଟି ସ୍ଥାନାଙ୍କ (x_0, y_0, z_0) ଓ ପ୍ରୋଟନଠାରୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଦୂରତା ସୂଚାଇବା ପାଇଁ ତିନୋଟି ସ୍ଥାନାଙ୍କ ନେବା । ସେଥିପାଇଁ ନିମ୍ନ ପରିବର୍ତ୍ତନ କରିବାକୁ ହେବ;

$$x_0 = \frac{Mx_1 + mx_2}{M+m}$$

$$y_0 = \frac{My_1 + my_2}{M+m}$$

$$z_c = \frac{Mz_1 + mz_2}{M+m}$$

$r \sin\theta \cos\phi = x_2 - x_1$, $r \sin\theta \sin\phi = y_2 - y_1$ ଓ
$r \cos\theta = z_2 - z_1$ । ତେଣୁ ଶ୍ରୋଡିଞ୍ଜରଙ୍କ ସମୀକରଣ ହେଲା,

$$-\frac{\hbar^2}{2(M+m)}\left(\frac{\partial^2\psi_T}{\partial x_c^2} + \frac{\partial^2\psi_T}{\partial y_c^2} + \frac{\partial^2\psi_T}{\partial z_c^2}\right)$$

$$+\frac{\hbar^2 (M+m)}{2Mm}\left[\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2\frac{\partial\psi_T}{\partial r}\right) + \frac{1}{r^2\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}\right.$$

$$\left.\left(\sin\theta\frac{\partial\psi_T}{\partial\theta}\right) + \frac{1}{r^2\sin^2\theta}\frac{\partial^2\psi_T}{\partial\phi^2}\right] - \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r}\psi_T = E_T\psi_T$$

ଉକ୍ତ $\psi_T(x_c, y_c, z_c, r, \theta, \phi)$କୁ କେବଳ x_c, y_c, z_cର ଫଳନ ψ_c ଓ କେବଳ r, θ, ϕର ଫଳନ ψର ଗୁଣଫଳ ସ୍ୱରୂପରେ ପ୍ରକାଶ କରି ଉକ୍ତ ସମୀକରଣକୁ ଭାଗ ଭାଗ କରିହେବ । ଶ୍ରୋଡିଞ୍ଜରଙ୍କ ସମୀକରଣରେ $\psi_T(x_c, y_c, z_c, r, \theta, \phi) = \psi_c(x_c, y_c, z_c)\,\psi(r, \theta, \phi)$ ବସାଇ ଓ ସମସ୍ତଙ୍କୁ $\psi_c\psi$ ଦ୍ୱାରା ଭାଗ କଲେ ଦେଖାଯିବ ଯେ ପରିଣାମୀ ସମୀକରଣର ଦୁଇଟି ଅଂଶ ଅଛି—ଗୋଟିଏ ଅଂଶ କେବଳ x_c, y_c, z_c ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିବ ଏବଂ ଅନ୍ୟ ଅଂଶଟି କେବଳ r, θ, ϕ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିବ । ତେଣୁ ଉଭୟ ଅଂଶ ଗୋଟିଏ ଧ୍ରୁବ ସହିତ ସମାନ ହେବ; ଆମର ଏହିପରି ଦୁଇଟି ସମୀକରଣ ହେବ,

$$-\frac{\hbar^2}{2(M+m)}\left(\frac{\partial^2\psi_c}{\partial x_c^2} + \frac{\partial^2\psi_c}{\partial y_c^2} + \frac{\partial^2\psi_c}{\partial z_c^2}\right) = E_{tr}\,\psi_c \qquad (୧୪·୨)$$

$$-\frac{\hbar^2 (M+m)}{2Mm}\left[\frac{1}{r^2}\frac{\partial}{\partial r}\left(r^2\frac{\partial\psi}{\partial r}\right) + \frac{1}{r^2\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}\left(\sin\theta\frac{\partial\psi}{\partial\theta}\right)\right.$$

$$\left. + \frac{1}{r^2\sin^2\theta}\frac{\partial^2\psi}{\partial\phi^2}\right] - \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r}\psi = E\psi \qquad (୧୪·୩)$$

ଏଠାରେ $E = E_T - E_{tr}$

ସମୀକରଣ (୧୪'୨) ବସ୍ତୁତ୍ୱକେନ୍ଦ୍ରର ଗତି ବୁଝାଉଛି, ବସ୍ତୁତ୍ୱ M + m ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ମୁକ୍ତ କଣିକା ସ୍ଥାନାନ୍ତରଣ ଗତିଜ ଶକ୍ତି E_{tr} ଲାଭ କଲା ପରି ଏହି ସମୀକରଣ ବ୍ୟବହାର କରେ । ଆମ ଉଦ୍ଦେଶ୍ୟ ପାଇଁ ପରମାଣୁର ସ୍ଥାନାନ୍ତରଣ ଶକ୍ତିର କୌଣସି ଆବଶ୍ୟକତା ନାହିଁ; E_{tr} ଯେକୌଣସି ଯୁକ୍ତ ମୂଲ୍ୟ (ବା ଶୂନ୍ୟ) ହୋଇପାରେ ।

Mm/(M+m) ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ କଣିକାର ସମୀକରଣ (୧୪'୧)ର ହ୍ରାସିତ ଫଳନର ପ୍ରସଙ୍ଗରେ ହୋଇଥିବା ତରଙ୍ଗ ସମୀକରଣ ହେଲା ସମ କରଣ (୧୪'୩) ।

$$m_r = \frac{Mm}{M+m} = \frac{m}{1+m/M} \qquad (୧୪'୪)$$

ଯାହାକି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ପରିଣାମୀ ବସ୍ତୁତ୍ୱ (ଦେଖ ଅନୁ: ୯'୪) । ପ୍ରକୃତରେ M ଅନନ୍ତ ହେବା ସମସ୍ତରେ, m_rଟି mର ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ ହେବ ଏବଂ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ମୂଳବିନ୍ଦୁ ସହ ସମୀକରଣ (୧୪'୧) ଦ୍ୱାରା ଦତ୍ତ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ଦ୍ୱାରା ଆବଦ୍ଧ ହେଲେ ସମୀକରଣ (୧୪ ୩) ତା'ର ତରଙ୍ଗ ସମୀକରଣ ହେବ । ଅହି ମଧ୍ୟ ଦେଖାଯିବ ଯେ ସମୀକରଣ (୧୪'୩).

$$-\frac{\hbar^2}{2m_r}\nabla^2\psi - \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r}\psi = E\psi \qquad (୧୪'୫କ)$$

ଆକାରରେ ଲେଖାଯାଇ ପାରେ, କାରଣ ସମୀକରଣ (୧୪'୩)ର ବନ୍ଧନୀ ମଧ୍ୟସ୍ଥ ରାଶି ଗୋଲକାକାର ପୋଲର ସ୍ଥାନାଙ୍କରେ ∇^2 ।

14·2 ଚରମାନଙ୍କର ପୃଥକୀକରଣ

ଏକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଥିବା ପରମାଣୁ ପାଇଁ ଶ୍ରୁଡିଙ୍ଗର ସମୀକରଣକୁ ଗୋଲକାକାର ସ୍ଥାନାଙ୍କରେ ଲେଖିବାର ସୁବିଧା ହେଲା ଏହି କାରଣ, ଏହି ଆକାରରେ ଏହାକୁ ତିନୋଟି ସମୀକରଣରେ ଅଲଗା ଅଲଗା କରି ଦେଇ ହେବ ଓ ଏ ପ୍ରତ୍ୟେକ ସମୀକରଣରେ ମାତ୍ର ଗୋଟିଏ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ରହିବ । ଏହା କରିବା ପାଇଁ ଆମେ ଅନୁମାନ କରିବା,

$$\psi(r, \theta, \phi) = R(r)\,\Theta(\theta)\,\Phi(\phi)$$

ଯଦି ଆମେ ଏହି ସମୀକରଣକୁ ସମୀକରଣ (୧୪.୩)ରେ ବସାଇବା ଓ

$$2m_r r^2 \sin^2\theta/(\hbar^2 R\,\Theta\phi)$$

ଦ୍ୱାରା ଗୁଣନ କରିବା, ତେବେ ଆମେ ପାଇବା,

$$\frac{\sin^2\theta}{R}\frac{d}{dr}\left(r^2\frac{dR}{dr}\right)+\frac{\sin\theta}{\Theta}\frac{d}{d\theta}\left(\sin\theta\frac{d\Theta}{d\theta}\right)+\frac{1}{\phi}\frac{d^2\phi}{d\phi^2}$$
$$+\frac{2m_r r^2\sin^2\theta}{\hbar^2}\left(\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r}+E\right)=0 \qquad (୧୪.୫)$$

ସମୀକରଣ (୧୪.୫)ର ତୃତୀୟ ପଦ କେବଳ ϕର ଗୋଟିଏ ଫଳନ, ଅନ୍ୟ କୌଣସି ପଦରେ ϕ ନାହିଁ, ଯଦି ϕର ସମସ୍ତ ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ ସମୀକରଣ (୧୪.୫) ସତ୍ୟ ହୁଏ, ଏହି ତୃତୀୟ ପଦ ନିଶ୍ଚୟ ଗୋଟିଏ ଧ୍ରୁବ ହେବ । ଏହି ଧ୍ରୁବକୁ ଆମେ $-m_l^2$ ନାମ ଦେବା । ତେଣୁ ϕ

$$\frac{d^2\phi}{d\phi^2}+m_l^2\phi=0 \qquad (୧୪.୬)$$

ସମୀକରଣକୁ ନିଶ୍ଚୟ ମାନିବ ।

ଯଦି ସମୀକରଣ (୧୪.୫)ରେ ତୃତୀୟ ପଦଟି ସ୍ଥାନରେ ଆମେ $-m_l^2$ ଲେଖିବା, ଏହାକୁ $\sin^2\theta$ରେ ଭାଗ କରି ସଜାଡ଼ି ଦେବା, ଆମେ ପାଇବା

$$\frac{1}{R}\frac{d}{dr}\left(r^2\frac{dR}{dr}\right)+\frac{2m_r r^2}{\hbar^2}\left(\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r}+E\right)=\frac{m_l^2}{\sin^2\theta}$$
$$-\frac{1}{\Theta\sin\theta}\frac{d}{d\theta}\left(\sin\theta\frac{d\Theta}{d\theta}\right) \qquad (୧୪.୬a)$$

ଏଠାରେ ବାମ ପକ୍ଷଟି କେବଳ rର ଫଳନ ଓ ଡାହାଣ ପକ୍ଷଟି କେବଳ θ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ । ଅତଏବ, ଉଭୟ ପକ୍ଷ ଗୋଟିଏ ଧ୍ରୁବ ସହ ସମାନ । ଏହି ଧ୍ରୁବକୁ $l(l+1)$ ବୋଲି ଲେଖାଯାଏ—ଏପରି ଲେଖିବାର କାରଣ ପରେ ଜଣାପଡ଼ିବ ।

ଯଦି ଉଭୟ ପକ୍ଷକୁ $l\,(l+1)$ ସହିତ ସମାନ କରଯାଏ ଓ ସଜାଡ଼ି ଦିଆଯାଏ, ଆମ୍ଭେ ଦେଖୁ

$$\frac{1}{\sin\theta}\frac{d}{d\theta}\left(\sin\theta\frac{d\Theta}{d\theta}\right)+\left[l\,(l+1)-\frac{m_l^2}{\sin^2\theta}\right](\text{ii})=0$$

(୧୪.୭)

$$\frac{1}{r^2}\frac{d}{dr}\left(r^2\frac{dR}{dr}\right)+\left[\frac{2m}{\hbar^2}\left(\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r}+E\right)-\frac{l\,(l+1)}{r^2}\right]R=0$$

(୧୪.୮)

(୧୪.୬)ରୁ (୧୪.୮) ମଧ୍ୟରେ ଆମେ ତିନୋଟି ସମୀକରଣ ପାଉଥାଉଁ, ଏଥିରୁ ପ୍ରତ୍ୟେକରେ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ଚର ରହିଛନ୍ତି, ଏହି ସମୀକରଣଗୁଡ଼ିକରୁ R,(II) ଓ ϕର ମୂଲ୍ୟ ବାହାର କରି ହେବ । ପରେ ସେଗୁଡ଼ିକ ଜଣା ପଡ଼ିଗଲେ ଆମେ ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ψକୁ ଲେଖି ଦେଇ ପାରିବା କାରଣ $\psi=R\,(r)\,(\text{II})\,[\theta]\,\phi\,(\theta)$

14·3 ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ଓ ଶକ୍ତି ସ୍ତର :

ସମୀକରଣ (୧୪·୬)ର ଗୋଟିଏ ସମାଧାନ ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଲେଖି ଦେଇ ହେବ ।

$$\phi\,(\theta)=c\,e^{im_l\theta}$$

ଏଠାରେ c ହେଉଛି ସମାକଳର ଧ୍ରୁବ । ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ଯେ ଏକ ମୂଲ୍ୟବାନ (ଅନୁ: ୧୬.୨) ହେବା ସର୍ତ୍ତ ଦରକାର କରୁଛି ଯେ, m_lଟି ଗୋଟିଏ ଯୁକ୍ତ ବା ବିଯୁକ୍ତ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ହେବ ବା ଶୂନ୍ୟ ହେବ; କାରଣ θକୁ 2π ବଢ଼ାଇଲେ ବିନ୍ଦୁଟି ପୁଣି ତା'ର ପୂର୍ବ ସ୍ଥାନକୁ ଫେରିଯିବ ଓ $\phi\,(\theta_1)=\phi\,(\phi_1+2\pi)$ ହେବ । ଯଦି m_lଟି ପ୍ରତ୍ୟେକ ଯୁକ୍ତ ଓ ବିଯୁକ୍ତ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ଏବଂ ଶୂନ୍ୟ ହେବ ବୋଲି ଅମେ ଧରିବା, ଆଉ ଯଦି

$$\int_0^{2\pi}\phi^*\phi\,d\theta=1$$ ହେବାଭଳି $\phi\,(\theta)$କୁ ପ୍ରକୃତସ୍ଥ କରିବା,

ଆମେ ଶେଷରେ ପାଇବା

$$\phi_m = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{im_1\theta} \quad m_1 = 0, \pm 1, \pm 2; \qquad (୧୪·୯)$$

ଏଠାରେ m_1କୁ ଚୁମ୍ବକ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା ବୋଲି କୁହାଯାଏ ।

ସମୀକରଣ (୧୪ ୭)କୁ ସମାଧାନ କରିବା ପାଇଁ $\omega = \cos\theta$ ଲେଖିବାର ପ୍ରଥା ପ୍ରଚଳିତ ଅଛି । ଏହି ମୂଲ୍ୟ ବସାଇଲେ ସମୀକରଣ (୧୪·୭) ହେବ

$$\frac{d}{d\omega}\left[(1-\omega^2)\frac{d\Theta}{d\omega}\right] + \left[L(L+1) - \frac{m_1^2}{1-\omega^2}\right]\Theta = 0$$

(୧୪·୭a)

ଏହି ସମୀକରଣ ପାଇଁ ସସୀମ, ଉତ୍ତମ-ଗୁଣଯୁକ୍ତ ସମାଧାନ ସବୁ ମିଳପାରିବ, କେବଳ ଯଦି Lଟି m_1 ସହିତ ସମାନ ହେବ ବା ତା ଠାରୁ ବଡ଼ କୌଣସି ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ହେବ । L ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟାଟିକୁ କକ୍ଷ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ (ବା azimuthal) କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା କୁହାଯାଏ । ସମୀକରଣ (୧୪·୭a)ର ସମାଧାନଗୁଡ଼ିକ ହେଲା, ସହଯୋଗୀ ଲଜେଣ୍ଡର ବହୁପଦୀ ସବୁ । ଆମେ$(^{H})$ $_{Lm}(\theta) = N_{Lm} P_L^m$ $(\cos\theta)$ ଲେଖିବା, ଏଠାରେ N_{Lm} ହେଲା ଉପଯୁକ୍ତ ପ୍ରକୃତସ୍ଥ କରିବା ଧ୍ରୁବ ଓ P_L^m ହେଲା ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ L ଓ m ପାଇଁ ସହଯୋଗୀ ଲଜେଣ୍ଡର ବହୁପଦୀକ । କେତେକ L ଓ m_1 ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ P_1^m $(\cos\theta)$ର ମୂଲ୍ୟ ତଳେ ଦିଆଗଲା ।

$P_0^0 = 1$ $\qquad$ $P_1^1 = \sin\theta$

$P_1^0 = \cos\theta$ $\qquad$ $P_2^1 = 3\sin\theta\cos\theta$

$P_2^0 = \frac{1}{2}[3\cos^2\theta - 1]$ $\qquad$ $P_2^2 = 3\sin^2\theta$

$P_3^0 = \frac{1}{2}[5\cos^3\theta - 3\cos\theta]$ $\qquad$ $P_3^1 = \frac{3}{2}\sin\theta\,[5\cos^2\theta - 1]$

$P_3^2 = 15\sin^2\theta\cos\theta$ $\qquad$ $P_3^3 = 15\sin^3\theta$

ଏହା ପରେ ଆମେ ସମୀକରଣ (୧୪.୮)ର ସମାଧାନ କଥା ବିଚାର କରିବା। ଏତେବେଳେ ବଦ୍ଧ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ଉପରେ (E ବିଯୁକ୍ତ) ଆମେ ସର୍ବଦା ଆଖି ରଖିବା। ବଦ୍ଧ ଅବସ୍ଥା ତରଙ୍ଗ ଫଳନଗୁଡ଼ିକ କେବଳ

$$E_n = -\frac{m_r e^4 Z^2}{32\pi^2 \epsilon_0^2 \hbar^2 n^2} = -\frac{m_r e^4 Z^2}{8\epsilon_0^2 h^2 n^2}$$

$$= -\frac{13.6 Z^2}{n^2}\, eV \qquad n = 1, 2, 3\cdots\cdots \qquad (୧୪.୧୦)$$

ଦ୍ୱାରା ଶକ୍ତି ପ୍ରକାଶ କରାଗଲେ ମିଳପାରିବ ବୋଲି ପରିଶିଷ୍ଟ ୧୪କରେ ଦେଖାଇ ଦିଆ ଯାଇଅଛି। ଶକ୍ତିର ଏହି ମୂଲ୍ୟଗୁଡ଼ିକ ପୂର୍ବରୁ ବୋର୍ ପାଇ ପାରିଥିଲେ। ଏହାଛଡ଼ା Eର ଯେକୌଣସି ଯୁକ୍ତ ମୂଲ୍ୟ ମଧ୍ୟ ଅନୁମତି ଦିଆଯାଇଛି। —

ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧୀୟ ବା ମୋଟ) କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା nର କୌଣସି ଦତ୍ତ ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧୀୟ ତରଙ୍ଗ ଫଳନ $R(r)$ ଓ କକ୍ଷୀୟ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା ହେଲ,

(୧) ଗୋଟିଏ ପ୍ରକୃତିସ୍ଥ କରିବା ଧ୍ରୁବ ($\mathcal{I}$) $e^{-\alpha r/2}$, ଏଥିରେ $\alpha = 2z/na_B$ ((a_B ହେଲ (ବୋର୍ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ) ଓ (୩) αrରେ ଗୋଟିଏ ବହୁ ରାଶିକର ଗୁଣଫଳ। ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ତରଙ୍ଗ ଫଳନ $\psi(r, \theta, \phi)$ଟି ସେଥିପାଇଁ $\psi_{nlm}(r, \theta, \phi) = N_{nl}\, e^{-\alpha r/2}$ (αrରେ ବହୁରାଶିକ) ($\cos\theta$ରେ ବହୁରାଶିକ) $e^{im_l\phi}$ ଦ୍ୱାରା ଲେଖା ଯାଇ ପାରିବ, ଏଠାରେ N_{nl} ହେଲ ପ୍ରକୃତିସ୍ଥ କରିବା ଧ୍ରୁବ ଯେପରିକି

$$\int\int\int \psi\psi\, dv = 1 \ (dv \text{ ଏକ ଘନଖଣ୍ଡ})\text{।}$$

ନିମ୍ନଦତ୍ତ ସମ୍ବନ୍ଧଗୁଡ଼ିକ ବୋର୍ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ a_B $(= 4\pi\epsilon_0\hbar^2/m_r e^2)$ରେ ପ୍ରକାଶିତ ନ୍ୟୂନତମ ଶକ୍ତି ଅବସ୍ଥା ପାଇଁ ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ସବୁ ଦେଉଅଛି।

$$\psi_{100} = \frac{1}{\sqrt{\pi}}\left(\frac{Z}{a_B}\right)^{\frac{3}{2}} e^{-Zr/a_B} \qquad \begin{matrix} n=1 \\ L=0 \\ m_l=0 \end{matrix}$$

$$\psi_{200}=\frac{1}{2\sqrt{2\pi}}\left(\frac{Z}{a_B}\right)^{\frac{3}{2}}\left(1-\frac{Zr}{2a_B}\right)\ e^{-Zr/2a_B}$$

$n=2$
$L=0$
$m_l=0$

$$\psi_{210}=\frac{1}{2\sqrt{2\pi}}\left(\frac{Z}{a_B}\right)^{\frac{3}{2}}\ \frac{Zr}{2a_B}\ e^{-Zr/2a_B}\cos\theta \quad l=1$$

$m_l=0$

$$\psi_{211}=\frac{1}{4\sqrt{\pi}}\left(\frac{Z}{a_B}\right)^{\frac{3}{2}}\left(\frac{Zr}{2a_B}\right)\ e^{-Zr/2a_B}\ \sin\theta\ e^{\mp i\theta}$$

$m_l=\pm1$

$$\psi_{300}=\frac{1}{9\sqrt{3\pi}}\left(\frac{Z}{a_B}\right)^{\frac{3}{2}}\left[3-6\frac{zr}{3a_B}+2\left(\frac{zr}{3a_B}\right)^2\right]e^{-Nr/3a_B}$$

$n=2$
$L=0$
$m_l=9$

$$\psi_{310}=\frac{\sqrt{2}}{9\sqrt{\pi}}\left(\frac{Z}{a_B}\right)^{\frac{3}{2}}\ \frac{Zr}{a_B}\left(2-\frac{Zr}{3a_B}\right)e^{-Zr/3a_B}$$
$$\cos\theta$$

$L=1$
$m_l=0$

$$\psi_{311}=\frac{1}{9\sqrt{\pi}}\left(\frac{Z}{a_B}\right)^{\frac{3}{2}}\ \frac{Zr}{3a_B}\left(2-\frac{Zr}{3a_B}\right)\ e^{-Zr/3a_B}$$
$$\times\sin\theta\ e^{\mp i\phi}$$

$m_l=\pm l$

$$\psi_{320}=\frac{1}{9\sqrt{6\pi}}\left(\frac{Z}{a_B}\right)^{\frac{3}{2}}\left(\frac{Zr}{3a_B}\right)e^{-Zr/3a_B}(3\cos^2\theta-1)$$

$L=2$
$m_l=0$

$$\psi_{321} = \frac{1}{9\sqrt{\pi}}\left(\frac{Z}{a_B}\right)^{\frac{3}{2}}\left(\frac{Zr}{3a_B}\right)^2 e^{-Zr/3a_B}$$

$$\times \sin\theta \cos\theta \, e^{\mp i\phi}$$

$$m_l = \pm 1$$

$$\psi_{322} = \frac{1}{18\sqrt{\pi}}\left(\frac{Z}{a_B}\right)^{\frac{3}{2}}\left(\frac{Zr}{3a_B}\right)^2 e^{-Zr/3a_B}$$

$$\sin^2\theta \, e^{\mp 2i\phi} \quad m_l = \pm 2$$

14·4 ସମ୍ଭାବନା ଘନତ୍ୱ ଓ ଚାର୍ଜ ବାଦଲ ଘନତ୍ୱ :

ଗୋଟିଏ ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ψ_{nlm_l} (r, θ, ϕ)ର ଅନୁରୂପ ସମ୍ଭାବନା ଘନତ୍ୱ $\psi^*\psi$ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ । ଯଦି କୌଣସି ସମୟରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟିର ଅବସ୍ଥାନ ପରୀକ୍ଷାଦ୍ୱାରା ବାହାର କରାଯାଏ, ତେବେ ତାହା dv ଘନଫଳରେ ମିଳିବାର ସମ୍ଭାବନା $|\psi|^2dv$ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ । ଜ୍ୟୋତିର୍ବିଦମାନେ ଗ୍ରହମାନଙ୍କୁ ସୂର୍ଯ୍ୟର ଚାରିପଟେ ଯେପରି ଅନୁସରଣ କରିଥାନ୍ତି, ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁ ମଧ୍ୟରେ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ଚାରିପଟେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନକୁ ଏହାର କକ୍ଷରେ ଗତି କଲାବେଳେ ବାରମ୍ବାର ପରୀକ୍ଷା ଦ୍ୱାରା ଅନୁସରଣ କରିବା ସମ୍ଭବ ନୁହେଁ; କାରଣ ଗୋଟିଏ ଗାମା-ରଶ୍ମି ଅଣୁବୀକ୍ଷଣ ସାହାଯ୍ୟରେ ଥରେ ମାତ୍ର ପରୀକ୍ଷା କଲେ କମ୍ପଟନ ପ୍ରଭାବ ଫଳରେ ପରମାଣୁରୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ନିଷ୍କାସିତ ହୋଇଯିବ ।

ଏଠାରେ କକ୍ଷରେ ଗତି କରିବାର କୌଣସି ପ୍ରସ୍ତାବ ଦିଆଯାଏନାହିଁ; କିନ୍ତୁ ଅନେକ ସମୟରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଚାର୍ଜ ସ୍ଥାନରେ ବାଣ୍ଟି ହୋଇ ଯାଇଥିବାର ଅନୁମାନ କଲେ ସୁବିଧା ହୋଇଥାଏ, ଏହି ବଣ୍ଟନର ଘନତ୍ୱ ହେଲା

$$\eta = e\psi^*\psi$$

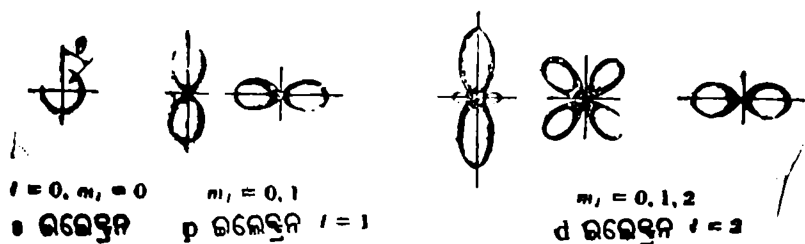
ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁରେ ପ୍ରକୃତରେ ୩ ଘନତ୍ୱରେ ଯଦି ଗ୍ରୁଜ ବଣ୍ଟନ ହୋଇଥାଏ, ତେବେ ତା ସ୍ୱରୂପରେ ଯାହା ଘଟନ୍ତା, ଅନେକ ଘଟଣା ସେହିପରି ଘଟିଥାଏ । ବରଂ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ କକ୍ଷରେ ଗତି କରେ. ψ_{nlml} ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ପାରମାଣିକ କକ୍ଷ ମାତ୍ର ରହିଥାଏ ବୋଲି ବୁଝାଯାଏ ।

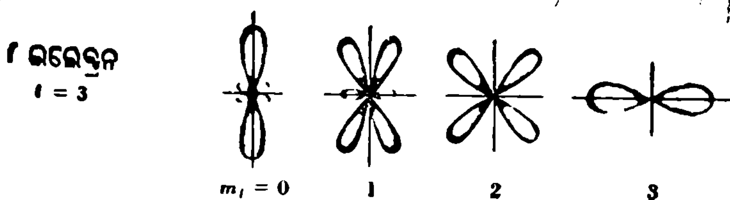
ϕଟି ψରେ $e^{im_l\phi}$ ଆକାରରେ ରହିଥିବାରୁ, ଏହା ସ୍ପଷ୍ଟ ଯେ $\psi^*\psi$ଟି ϕର ଫଳନ ନୁହେ । ଫଳତଃ ଯେତେବେଳେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ଏହାର ଗୋଟିଏ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାରେ ରହିଥାଏ, ସମ୍ଭାବନା ଘନତ୍ୱର (ବା ଗ୍ରୁଜ-ବାଦଲ ଘନତ୍ୱର) ବ୍ୟବହୃତ ପୋଲର ଅକ୍ଷ ସ୍ୱରୂପରେ ପ୍ରତିସମତାକାର ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ରହିଥାଏ ଓ $|\psi|^2 = R^2\Theta^2$ ହୁଏ । ଫଳନ $(_{H})_{lm_l}$ର ପୋଲର ଗ୍ରାଫରୁ (ଚିତ୍ର ୧୪·୧) ଦେଖାଯାଉଛି । ଯେ, θର ପରିବର୍ତ୍ତନ $\theta = \pi/2$ ସମତଳ ପାଇଁ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ହେଲେ ମଧ୍ୟ $l=0$ ନ ହେଲେ ଅଧିକ ହେବ । $L=0$ ହେଲାବେଳେ ଗୋଲାକାର ବଣ୍ଟନ ହେବ । ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକର ବନ୍ଧନ ସେମାନଙ୍କର ପାରମାଣବିକ କକ୍ଷମାନଙ୍କୁ ନେଇ ବିସ୍ତୃତ କଲାବେଳେ ଗ୍ରୁଜ ଘନତ୍ୱର କୌଣିକ ପରିବର୍ତ୍ତନର ବହୁତ ପ୍ରାଧାନ୍ୟ ରହିଅଛି ।

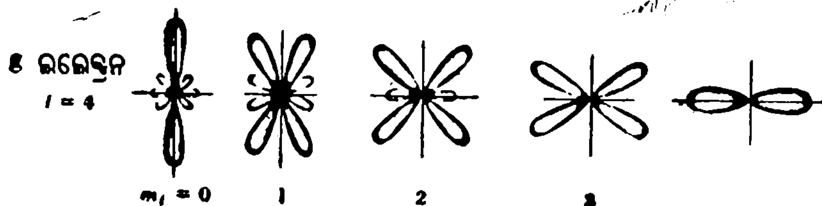
ଗ୍ରୁଜ ଘନତ୍ୱର ଗତି ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧୀୟ ପରିବର୍ତ୍ତନ ଆଲୋଚନା କରିବାପାଇଁ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସକୁ କେନ୍ଦ୍ର କରି r ଓ $r+dr$କୁ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ନେଇ ଦୁଇଟି ଗୋଲକ ଟାଣିଲେ $P_r\, dr$ ସେ ଦୁଇ ଗୋଲକ ମଧ୍ୟରେ ମୋଟ ସମ୍ଭାବନା ସୂଚାଏ (σdr ଗ୍ରୁଜର ପରିମାଣ ସଂଖ୍ୟାରେ ବୁଝାଏ) । ଦୁଇ ଗୋଲକ ମଧ୍ୟରେ ଘନ r^2କୁ ଅନୁପାତୀ । ତେଣୁ, ଯଦି R_{nl}କୁ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଭାବରେ ପ୍ରକୃତସ୍ଥ କର

$$\int_0^{\infty} P_r dr = \int_0^{\infty} r^2 R_{nl}^2\, dr = 1$$ କରାଯାଏ, ତେବେ

$$P_r = r^2 R_{nl}^2 \text{ ଓ } \eta_r = e\, P_r = e\, r^2 R_{nl}^2$$



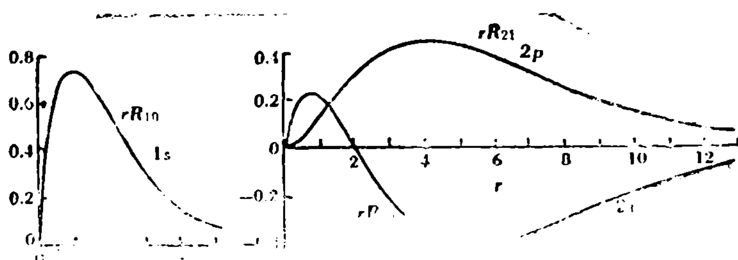




[ଚିତ୍ର ୧୪·୧ L = 0, 1, 2, 3, 4 ପାଇଁ θର ଫଳନ ସ୍ୱରୂପରେ ସମ୍ଭାବନା ଘନତ୍ୱ ଫଳନ । $\Theta|L_{lml}|^2$, କୌଣସି ରେଖାରେ ମୂଳବିନ୍ଦୁଠାରେ ଗୋଟିଏ ବକ୍ର ବକ୍ର ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଟଣାଯିବା ସରଳରେଖା ସେହି ଦିଗରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟିକୁ ପାଇବାର ସମ୍ଭାବନା ପ୍ରତି ଅନୁପାତୀ (ବକ୍ରଗୁଡ଼ିକ ଏକା ଏକକରେ ଟଣାଯାଇ ନାହିଁ) ।

ଚିତ୍ର ୧୪·୨ରେ ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ତିନୋଟି ଅବସ୍ଥା ପାଇଁ rR_{nl}ର ମୂଲ୍ୟ ଗ୍ରାଫ୍‌ରେ ଦେଖାଯାଇଅଛି ଓ ଚିତ୍ର ୧୪·୩ରେ P_rର ବା η_rର ଅନୁରୂପ ମୂଲ୍ୟ ସବୁ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି, ଏହା $r^2R_{nl}^2$କୁ ଅନୁପାତୀ । ପୂର୍ବୋକ୍ତ ରେଖାମାନଙ୍କ ତଳେ ଥିବା କ୍ଷେତ୍ରଫଳ

ଗୁଡ଼ିକ ଯଦି ଏକା ଅଭିଲମ୍ବ ସ୍କେଲରେ ଅଙ୍କିତ ହୁଅନ୍ତି, ତେବେ ସମସ୍ତେ ସମାନ ହେବା ଉଚିତ । ଏହି ରେଖାଗୁଡ଼ିକୁ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରୋସ୍କୋପ ବିଶାରଦମାନଙ୍କ ଭାଷାରେ ନାମକରଣ କରାଯାଇଅଛି, $l=0, 1, 2, 3\cdots\cdots$ ବୁଝାଇବା ପାଇଁ $s, p, d, f\cdots$ ଅକ୍ଷରଗୁଡ଼ିକ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଏ, ଏ ଅକ୍ଷର ପୂର୍ବରୁ nର ମୂଲ୍ୟସୂଚକ ଗୋଟିଏ ସଂଖ୍ୟା ଲେଖାଯାଏ । ତେଣୁ Lର ବିଭିନ୍ନ ମୂଲ୍ୟ ବୁଝାଇବା ପାଇଁ ଲେଖାଯାଏ

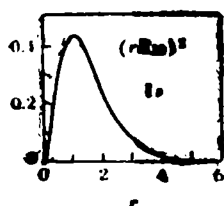


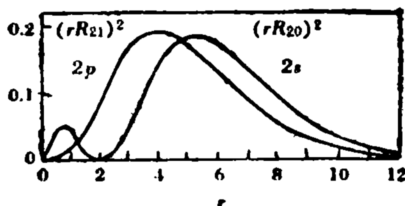
[ଚିତ୍ର ୧୪.୨ ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ଡିନି କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥା ପାଇଁ ବୋର୍ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧରେ ପ୍ରକାଶିତ rର ଫଳନ ଭାବରେ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧୀୟ ଫଳନ rR_n]

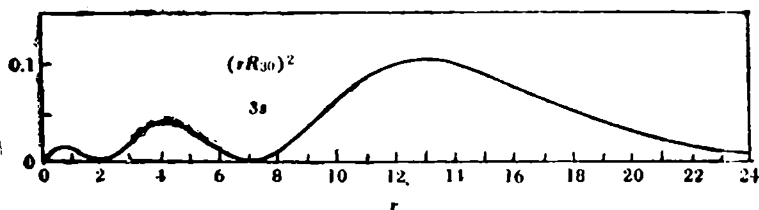
0	1	2	3	4	5	6	7	……
s	p	d	f	g	h	i	k	

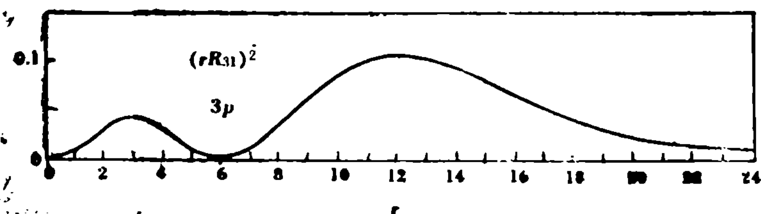
ଏ ଅକ୍ଷରଗୁଡ଼ିକ ଥାଇବାର କାରଣ ଅନୁ: ୧୭·୨ରେ ବୁଝାଯାଇଛି । ସମସ୍ତ ବାସାର୍ଦ୍ଧୀୟ ବୃତ୍ତି R_{nl}. $n-l$ ସଂଖ୍ୟକ ଶୀର୍ଷତମ ମୂଲ୍ୟ ଦେଖାଏ ଏବଂ ଯଦି $n-l>1$ ହୁଏ, ତେବେ ବ୍ୟବଧାନ ମଧ୍ୟରେ ଶୂନ୍ୟ ମୂଲ୍ୟସବୁ ମିଳିଥାଏ ।

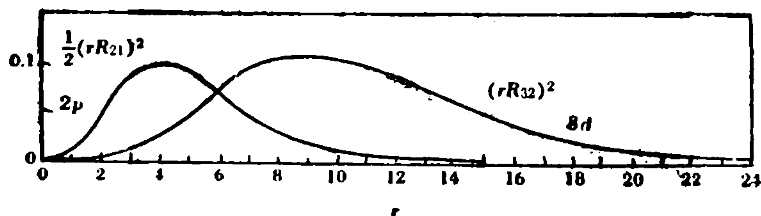
ଯଦିଓ ତରଙ୍ଗଫଳନଗୁଡ଼ିକ ମଧ୍ୟରେ ପୂର୍ବ ବୋର୍‌କକ୍ଷଗୁଡ଼ିକ ସମ୍ବନ୍ଧରେ କୌଣସି ସୂଚନା ନଥାଏ, ତଥାପି ସେମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ କେତେକ ଯୋଗସୂତ୍ର ଖୋଜି ବାହାର କରି ହୁଏ । $L=n-1$ ଅବସ୍ଥାରେ, ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧୀୟ ଘୂର୍ଣ୍ଣ ଘନତା nର ଶୀର୍ଷତମ ମୂଲ୍ୟ rର











[ଚିତ୍ର ୧୪.୩ ବୋର୍ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧରେ ପ୍ରକାଶିତ r ର ଫଳନ ଭାବରେ ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ଛଅଟି କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥା ପାଇଁ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧୀୟ ସମ୍ଭାବନା ଘନତ୍ୱ $\sigma(r) = r^2 R_{o}^2$ (2P କକ୍ଷ ପାଇଁ ରେଖା ତୁଳନାର ସୁବିଧାଦୃଷ୍ଟିରୁ ଦୁଇଥର ଟଣାଯାଇଅଛି) ।]

ଯେଉଁ ମୂଲ୍ୟଠାରେ ମିଳିଥାଏ, ଅନୁରୂପ ବୋର୍‌କକ୍ଷର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ସହ ତାହା ସମାନ ହୋଇଥାଏ । ଚିତ୍ର ୧୪.୩ରୁ ଦେଖାଯିବ ଯେ, ଏହି ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକଠାରେ ଘନତା ଗୋଟିଏ ଚଉଡ଼ା ଶୃଙ୍ଗ ଦେଖାଇବ, ଏହା s ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କରେ ($l=0$) ଅଧିକ ଚଉଡ଼ା ଭାବରେ ବର୍ଣ୍ଣନ ହୋଇଥାଏ । ସୂତ୍ରମାନଙ୍କରୁ ସ୍ପଷ୍ଟ ଜଣାଯାଉଛି ଯେ, s ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କରେ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସଠାରେ ($r=0$) ψ ଲୋପ ହୋଇଯାଏନାହିଁ; ଏହି ଘଟଣା ଏହି ଅବସ୍ଥା ଗୁଡ଼ିକୁ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଗୁଣ ଦେଇଥାଏ ।

n ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ P_r ପାଇଁ ମିଳୁଥିବା ରେଖା ଅଧିକରୁ ଅଧିକ ପରିମାଣରେ ଠିକ୍ ଭର କକ୍ଷମାନଙ୍କ ପରି ପ୍ରସାରିତ ହୋଇଯାଏ; ସେତେ ଯେପରି ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ଫୁଲି ଉଠେ । ଅନ୍ୟ ପକ୍ଷରେ, ଯେବେ Z ବଢ଼ିଯାଏ, Zର ପ୍ରତି ଲୋମ ଅନୁପାତରେ Z ସଙ୍କୁଚିତ ହୋଇଯାଏ ।

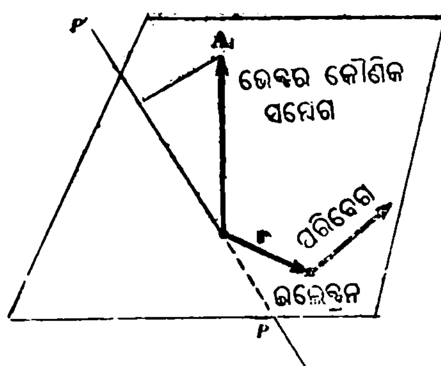
14·5 କକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗ :

ଯେତେବେଳେ ପରମାଣୁଟି ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାରେ ଥାଏ, ସମ୍ଭାବନା ଘନତା $\psi^*\psi$ ବା $\psi^*\psi$ ସମୟ ଅନୁସାରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ନହୋଇ ସର୍ବଦା ସମ-ଅବସ୍ଥାରେ ଥାଏ । ତେଣୁ ଏକ ପ୍ରକାରରେ କହିଲେ, ସେତେବେଳେ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ମୋଟେ ଗତି କରୁନଥାଏ । କିନ୍ତୁ କେତେକ ଘଟଣା ସୂଚାଉଛି ଯେ $L>0$ ହେଲେ, ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଟିର ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ଚାରିପଟେ କୌଣିକ ସଂବେଗ ରହିଅଛି; ଗୋଟିଏ କକ୍ଷରେ ପୁରାତନ ମତାନୁସାରେ ଗତି କଲେ ଯେପରି ଚୁମ୍ବକୀୟ ପ୍ରଭାବ ମିଳିଥାଏ, ଏହି ଗତିରେ ମଧ୍ୟ ସେହିପରି ଚୁମ୍ବକୀୟ ପ୍ରଭାବ ମିଳିଥାଏ । ତେଣୁ ସୁବିଧାଦୃଷ୍ଟିରୁ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଟି ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ଚାରିପଟେ "ଘୂରୁଛି" ବୋଲି ଆମେ କହିବା ଏବଂ ଏହି ଗତିକୁ ଆମେ ଅନେକ ସମୟରେ କକ୍ଷୀୟ ଗତି ବୋଲି କହିବା । ସମାନ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ବିଭିନ୍ନ ଅବସ୍ଥା ମଧ୍ୟରେ ତାରତମ୍ୟ ଦେଖାଇବାରେ କୌଣିକ ସଂବେଗର ମୂଲ୍ୟ ଅତ୍ୟନ୍ତ ଦରକାରୀ ହୋଇଥାଏ ।

ଗୋଟିଏ ନଟ୍ଟ ଗୋଟିଏ ବିନ୍ଦୁର ଚାରିପଟେ ଘୂରିଲି ପରି ଗୋଟିଏ ଅଳମମାନ୍ୟ ବସ୍ତୁ ଯେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ ସ୍ଥିର ବିନ୍ଦୁର ଚାରିପଟେ ଘୂରେ, ସେହି ସ୍ଥିର ବିନ୍ଦୁ ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଯାଉଥିବା ଗୋଟିଏ ଅକ୍ଷ ବସ୍ତୁଟିର କୌଣିକ ସଂବେଗ ଶୀର୍ଷତମ ହୋଇଥାଏ । ଶୀର୍ଷତମ

କୌଣିକ ସଂବେଗ ରେଖା ପ୍ରତି θ କୋଣରେ ଅବନତ ଅନ୍ୟ କୌଣସି ଅକ୍ଷରେ କୌଣିକ ସଂବେଗ ତା'ର ଶୀର୍ଷତମ ମୂଲ୍ୟ ଓ $\cos\theta$ର ଗୁଣଫଳ ସହ ସମାନ ହେବ । ଯେଉଁ ଅକ୍ଷ ଚାରିପଟେ କୌଣିକ ସଂବେଗ ଶୀର୍ଷତମ, ସେହି ଅକ୍ଷ ଦିଗରେ ଗୋଟିଏ ଭେକ୍ଟର ଦ୍ୱାରା ତାହା ସୂଚିତ ହୋଇ ପାରିବ, ଏହି ଭେକ୍ଟରର ଦୈର୍ଘ୍ୟ କୌଣିକ ସଂବେଗର ଶୀର୍ଷତମ ମୂଲ୍ୟ ପ୍ରକାଶ କରିବ ଓ ଘୂରୁଥିବା ବସ୍ତୁଟି ଯେଉଁ ଦିଗରେ ଘୂରୁଛି, ଗୋଟିଏ ଡାହାଣକୁ ଘୂରୁଥିବା ସ୍କ୍ରୁକୁ ସେହି ଦିଗରେ ଘୂରାଇଲେ, ସ୍କ୍ରୁଟି ଯେଉଁ ଦିଗରେ ଗତି କରିବ, ତାହା ଭେକ୍ଟରର ଦିଗ ହେବ । ଅନ୍ୟ ଯେକୌଣସି ଅକ୍ଷରେ କୌଣିକ ସଂବେଗ, ଉକ୍ତ ଭେକ୍ଟରର ସେହି ଅକ୍ଷ ଦିଗରେ ସଂଯୋଜକ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହେବ ।

ଗୋଟିଏ ଗତିଶୀଳ କଣିକାକୁ ମଧ୍ୟ ଏହି ପ୍ରକାରରେ ବିଚାର କରାଯାଇ ପାରିବ । ପୁରାତନ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ, ଯେ କୌଣସି ମୁହୂର୍ତ୍ତରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ନିଉକ୍ଲିୟସ ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଯାଉଥିବା ଗୋଟିଏ ସମତଳରେ ଗତି କରିବ; ନିଉକ୍ଲିୟସ ଚାରିପଟେ ଏହାର କୌଣିକ ସଂବେଗ ସାଧାରଣତଃ ଏହି ସମତଳକୁ ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ଭେକ୍ଟରଟିଏ ଟାଣି ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇଥାଏ (ଚିତ୍ର ୧୪·୪ ଦେଖ) । କକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗ A_1 ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହେଉ ।



[ଚିତ୍ର ୧୪·୪ କକ୍ଷୀୟ ଭେକ୍ଟର କୌଣିକ ସଂବେଗ

$$\vec{A}_1 = \vec{r} \times m\vec{V}$$]

କାର୍ଟେସୀୟ ଅକ୍ଷ ପ୍ରଣାଳୀରେ କୌଣିକ ସଂବେଗର ବର୍ଗ ପାଇଁ ଅପରେଟର ସମୀକରଣ (୧୩.୧୭)ରେ ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥିଲା । ଯଦି କେହି $x = r\sin\theta\cos\phi$, $y = r\sin\theta\sin\phi$ ଓ $z = r\cos\theta$ ଲେଖେ, ଏହି ଅପରେଟର ପାଇଁ ସେ ପାଇବେ

$$\hat{\vec{A}}_l \cdot \hat{\vec{A}}_l = -\hbar^2\left[\frac{1}{\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}\left(\sin\theta\frac{\partial}{\partial\theta}\right) + \frac{1}{\sin^2\theta}\frac{\partial^2}{\partial\phi^2}\right] \qquad (୧୪.୧୨)$$

ଯଦି ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ପାଇଁ ଏହି ଅପରେଟର ବ୍ୟବହାର କରାଯାଏ

$$\psi_{nlm_l} = R_{nl}\,\Theta_{lm_l}\,e^{im_l\phi}$$

ଆମେ ପାଉ,

$$\hat{\vec{A}}_l \cdot \hat{\vec{A}}_l R\,\Theta e^{im_l\phi} = \hbar^2\left[-\frac{1}{\Theta\sin\theta}\frac{\partial}{\partial\theta}\left(\sin\theta\frac{\partial\Theta}{\partial\theta}\right) + \frac{m_l^2}{\sin^2\theta}\right] \times R\,\Theta e^{im_l\phi}$$

ତେବେ, ବନ୍ଧନୀ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ରାଶିଟି ସମୀକରଣ (୧୪.୨a)ର ବାମ ପକ୍ଷ ଓ ଏହାର ମୂଲ୍ୟ $l(l+1)$ । ତେଣୁ $\hat{\vec{A}}_l \cdot \vec{A}_l\psi = \hbar^2 l(l+1)\psi$, ଫଳରେ $A_l^2 = \vec{A}_l \cdot \vec{A}_l$ର ଆଇଗେନ ମୂଲ୍ୟ ସମୀକରଣ (୧୩.୧୮)ରୁ ମିଳିଥାଏ; $A_l^2 = l(l+1)\hbar^2$, କକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗ $\vec{A}_l$ର ପରିମାଣର ସମ୍ଭାବ୍ୟ ମୂଲ୍ୟସବୁ ହେଲା,

$$A_l = \sqrt{l(l+1)}\,\hbar \qquad l = 0, 1, 2 \cdots \qquad (୧୪.୧୩)$$

କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଯାନ୍ତ୍ରିକ ଅନୁସାରେ (ଓ ପରୀକ୍ଷା) ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ବା ଅନ୍ୟ ଯେକୌଣସି ଅବସ୍ଥାରେ $L = 0$ ହେଲେ କୌଣସି କକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗ ରହିବ ନାହିଁ ।

ସମୀକରଣ (୧୩·୧୬a)ରେ ଦିଆ ଥିବାପରି ଯଦି z ଅକ୍ଷରେ କୌଣିକ ସଂବେଗର ଅପରେଟର $(A_1)_z$କୁ ψ_{nlm_1} ରେ ଲଗାଯାଏ, ଫଳ ହେବ,

$$(\widehat{A}_1)_z \ \psi_{nlm_1} = \frac{\hbar}{i} \ \frac{\partial}{\partial\phi}\psi_{nlm_1} = m_1\hbar\psi_{nlm_1}$$

ତେଣୁ ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ψ_{nlm_1} ନିଉକ୍ଲିୟର କ୍ଷେତ୍ରରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟିର ଅବସ୍ଥା ପ୍ରକାଶ କରୁଛି । ଏଥିରେ ପୋଲର ଅକ୍ଷ ପ୍ରଣାଳୀରେ ଏହାର ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ କୌଣିକ ସଂବେଗ

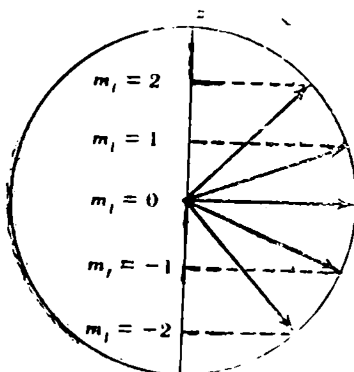
$$(A_1)_z = m_1\hbar \qquad (୧୪·୧୪)$$

ରହିଅଛି ।

ପୋଲର ଅକ୍ଷରେ କୌଣିକ ସଂବେଗ $(A_1)_z$ ମୂଲ୍ୟ, ଶୀର୍ଷତମ ମୂଲ୍ୟ l ଏକକ ଠାରୁ ଏକ ଏକ କରି କମି, (ଗୋଟିଏ ଦିଗରେ $\hbar$ ପରିମାଣରେ କମି କମି) ଶୂନ୍ୟ ହୋଇ ତାପରେ ବିପରୀତ ଦିଗରେ l ଏକକ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଯିବ । ଏହା ଚିତ୍ର ୧୪·୫ରେ $l=2$ ଘଟଣାଟି ପାଇଁ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି ଓ କକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗ ହେଲା $\sqrt{6}\hbar$ । $\vec{A}_1$କୁ ପ୍ରକାଶ କରୁଥିବା ଭେକ୍ଟରଟିକୁ ପାଞ୍ଚଟି ବିଭିନ୍ନ ଅବସ୍ଥାନରେ, $m_1=-2, -1, 0, 1, 2$ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । କକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗ $\vec{A}_1$ କ୍ଷେତ୍ରଠାରୁ କେତେକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଦିଗକୁ ରହିପାରିବା ସମ୍ଭବ ଯେପରି କି ତା'ର z ସଂଯୋଜକ ଗୋଟିଏ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା $m_1 \times \hbar$ ହେବ । ଏଠାରେ ଯେପରି ସମ୍ବନ୍ଧର କଥା କୁହାଗଲା, ତାକୁ ସ୍ଥାନ କ୍ୱାଣ୍ଟିକରଣ କୁହାଯାଇଥାଏ ।

କୌଣିକ ସଂବେଗ $\vec{A}_1$ର ଭେକ୍ଟରର ଅଭିଲମ୍ବ ସଂଯୋଜକକୁ ପ୍ରକାଶ କରୁଥିବା ଅପରେଟରକୁ ଯଦି ψ_{nlm_1} କୁ ଲାଗୁ କରାଯାଏ, ଫଳ ψ_{nlm_1}କୁ ଗୋଟିଏ ଧ୍ରୁବରେ ଗୁଣି ଦେଲେ ମିଳୁଥିବା ଫଳ ହେବନାହିଁ । ଅନିଶ୍ଚିତ ନିୟମର ଏହା ଗୋଟିଏ ସାଧାରଣ ଫଳ ଯେ, ଯେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ ଭେକ୍ଟର କୌଣିକ ସଂବେଗର ଗୋଟିଏ । ସଂଯୋଜକର ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ମୂଲ୍ୟ ଥାଏ, ଅନ୍ୟ ସଂଯୋଜକମାନଙ୍କର ନଥାଏ

ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁ ψ_{nlm_l} ଅବସ୍ଥାରେ ଥିଲେ ଏହାର ଅଭିଲମ୍ବ ସଂଯୋଜକର ପରିମାପ $\hbar$ର ବିଭିନ୍ନ ଗୁଣିତକରୁ ଗୋଟିଏ ହେବ (ଯଦି $l>0$ ହୁଏ) ଓ ତାର ଗଡ଼ ଅଣା କଢ଼ାଯିବ ମୂଲ୍ୟ ଶୂନ୍ୟ ହେବ । ଏହା ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକୀର ଏକ ପ୍ରଧାନ କୌତୂହଳପୂର୍ଣ୍ଣ ସିଦ୍ଧାନ୍ତ;



[ଚିତ୍ର ୧୪.୫ $l=2$ ପାଇଁ $\sqrt{6}\hbar$ ପରିମାଣ ବିଶିଷ୍ଟ କକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗ ଭେକ୍ଟର ଏପରି ଦିଗ ପରିବର୍ତ୍ତନ କରିବ ଯେ, ଏହାର z ସଂଯୋଜକ ହେବ $m_l\hbar$, ଏଠାରେ $m_l = 2, 1, 0, -1,$ ବା -2]

କାରଣ ପୁରାତନ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଅନୁସାରେ $\vec{A}_l$ର ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଦିଗ ରହିବ ଓ ଏହାର ସମସ୍ତ ସଂଯୋଜକର ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ମୂଲ୍ୟସବୁ ରହିବ (ଯେ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ କୌଣସି ବାହ୍ୟ ମଣ୍ଡଳଟି ଉପରେ କାର୍ଯ୍ୟ କରିନାହିଁ) । ତେବେ ପୁରାତନ ଭେକ୍ଟର $\vec{A}^l$ର ଅକ୍ଷ ଚାରିପଟେ ଯେ କୌଣସି ଅବସ୍ଥାନ ସମ୍ଭବ ଓ ଏହାର ଅକ୍ଷୀୟ ସଂଯୋଜକର ମୂଲ୍ୟ ହେବ $m_l\hbar$ । ତେଣୁ ଗୋଟିଏ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥା ଗୋଟିଏ ପୁରାତନ ଗତିର ଅନୁରୂପ ନୁହେଁ, ଏହା ଏକ ଶ୍ରେଣୀର ବହୁ ଗତିର ଅନୁରୂପ । ଯଦି $\vec{A}_l$ ଅକ୍ଷ ସହିତ କୌଣସି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ କୋଣ କରି ଏହା ଚାରିପଟେ ଘୂରେ, ତେବେ ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଦିଗକୁ ରହିବନାହିଁ ବା ଏହାର ଅଭିଲମ୍ବ ସଂଯୋଜକର ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ମୂଲ୍ୟ ରହିବନାହିଁ । ଏହିପରି ଏକ 'ଘୂର୍ଣ୍ଣନ' ହେଉଛି ବୋଲି

ଅନୁମାନ କଲେ ମନେ ରଖିବାକୁ ସୁବିଧା ହୁଏ । ତେବେ, ଏକଥା ଭୁଲିଗଲେ ଚଳିବ ନାହିଁ ଯେ ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକୀରେ ସମସ୍ତ ଧାତୁ୍ୟ ବଳର ଅଭାବ ସମୟରେ ମଧ୍ୟ ସମସ୍ୟାଟିରେ ଅନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟତା ରହୁଥାଏ ।

14·6 ଆପେକ୍ଷିକ ପ୍ରଭାବ ଓ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ :

ଏ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଗଢ଼ାଯାଇଥିବା ତତ୍ତ୍ୱ ଅଣଆପେକ୍ଷିକ । ଏହା ସ୍ୱଳ୍ପ ଶକ୍ତି କ୍ଷେତ୍ରରେ ପ୍ରଯୁଜ୍ୟ । ନିଉଟନ୍ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ପରି, ଆପେକ୍ଷିକ ନିୟମ ସଙ୍ଗେ ଖାପ ଖାଇବା ପରି ତିଆରି କଲେ ଏଥିରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ କରିବାକୁ ହେବ । ସେଥିରେ ଦୁଇଟି ପ୍ରଧାନ ସଂଶୋଧନଜନିତ ପଦ ରହିବ, ଗତିଜ ଶକ୍ତି ପାଇଁ ଆପେକ୍ଷିକ ଉକ୍ତି ବ୍ୟବହାର କଲେ ଗୋଟିଏ ଆସିବ ଓ ଅନ୍ୟଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଘୂର୍ଣ୍ଣନର ଜାତ ହେବ ।

ପ୍ରଥମ ସଂଶୋଧନଟି, ଶ୍ରୁଡ଼ିଞ୍ଜରଙ୍କ ସମୀକରଣରେ ଆଲୋଡ଼ନ ପ୍ରଣାଳୀରେ ମୋଟାମୋଟି ହିସାବ କରିହେବ । ଯଦି ସଂବେଗ P ଟି mc ଠାରୁ ବହୁ ପରିମାଣରେ କମ୍ ହୁଏ, ଆପେକ୍ଷିକ ଗତିଜ ଶକ୍ତି k ହେବ,

$$K=(p^2c^2+m^2c^4)^{\frac{1}{2}}-mc^2=\frac{P^2}{2m}-\frac{P^4}{8m^3c^2}+\cdots \quad (୧୪·୧୫)$$

ଯେତେବେଳେ ଅନୁ: ୧୩·୬ର ହାମିଲ୍‌ଟନିୟାନରେ Kର ଏହି ମୂଲ୍ୟ ବସାଯାଏ, $P^4/8m^3c^2$ ଗୋଟିଏ ଆଲୋଡ଼ନ ପଦ ହେବ । ଯେତେବେଳେ P ସ୍ଥାନରେ ଅପରେଟର $\hbar\vec{\nabla}/i$ ବସାଯିବ, ସମୀକରଣ (୧୩·୪୧)ର ନିବିମିତକ ଅନୁରୂପକୁ ସମାଧାନ କରାଯିବ, ଦେଖାଯିବ ଯେ, ଅଣଆଲୋଡ଼ିତ ଶକ୍ତି E_n ସହିତ ଆପେକ୍ଷିକ ସଂଶୋଧନ $\triangle E_r$ ଯୋଗ କରିବାକୁ ହେବ, ଏଠାରେ

$$\triangle E_r=E_n'-E_n=\frac{Rhc\alpha^2Z^4}{4n^4}\left(3-\frac{4n}{L+\frac{1}{2}}\right) \quad (୧୪·୧୬)$$

ଏଠାରେ Z ହେଲା ଇଡ଼ବର୍ଗ ଧ୍ରୁବ ଓ α ହେଲା ସୂକ୍ଷ୍ମ ଗଠନ ଧ୍ରୁବ ।

ଏହି ଆପେକ୍ଷିକ ସଂଶୋଧନ ସାଙ୍ଗକୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଆଶ୍ଚର୍ଯ୍ୟଜନକଭାବେ ଅପେକ୍ଷିକ କ୍ୱାଣ୍ଟମତତ୍ତ୍ୱରେ ଦେଖାଦିଏ । ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକୀର ଜନ୍ମ ପୂର୍ବରୁ ଗଡ଼ସ୍ମିଟ ଓ ଉଲେନ୍‌ବେକ (ଅନୁ: ୯.୯)ରେ ଏହା ଦର୍ଶାଇଥିଲେ । 1928 ମସିହାରେ ଡିରାକ ଗଢ଼ିଥିବା ଆପେକ୍ଷିକ ତରଙ୍ଗ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀରେ ଏହା ସ୍ଥାନ ପାଇଥିଲା । ସେ ଦେଖାଇଲେ ଯେ, ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକୀର ତତ୍ତ୍ୱଗୁଡ଼ିକୁ ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱ ସହିତ ସମତାଳରେ ନେବାପାଇଁ ସବୁଠାରୁ ପ୍ରାକୃତିକ ପନ୍ଥା ହେଲା, ଗୋଟିଏ ଭିନ୍ନ ତରଙ୍ଗ ସମୀକରଣ ଗ୍ରହଣ କରିବା ଓ ଯେତେବେଳେ ଏହା ହୋଇଯିବ, ନୂଆ ସମୀକରଣ ଆପେ ଆପେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନକୁ ମିଳୁଥିବା ସିଦ୍ଧାନ୍ତଗୁଡ଼ିକୁ ଆଗେଇନେବ । ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଏହାର ଅକ୍ଷ ଚାରିପଟେ ଘୂରୁଛି ବୋଲି ଅନୁମାନ କରିବାର ଆବଶ୍ୟକତା ନାହିଁ । ଡିରାକଙ୍କର ଏହି ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଏହିପରି ଏକ ଅନ୍ତରସ୍ଥ କୌଣିକ ସଂବେଗ ଥିଲା ପରି ଏହା ବ୍ୟବହାର କରିବ ଓ ଏଥି ସହିତ ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକୀୟ ସଂବେଗ ମଧ୍ୟ ରହିଥିବ । ଆହୁ ମଧ୍ୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟିକୁ ସୂଚାଇବା ପାଇଁ ଯଦି ଗୋଟିଏ ତରଙ୍ଗଥଳ ଗଢ଼ାଯିବ, ସାଧାରଣତଃ ସେଥିରେ ସମ୍ଭାବନାର ଗୋଟିଏ ବଳ ଥିବା ସ୍ରୋତ ବା ହିଲ୍ଲୋଳ ପ୍ରବାହିତ ହେଉଥିବ ଓ ଏହା ପ୍ରକୃତ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଗତିର ଅନୁରୂପ ବୋଲି ମନେ କରାଯାଇପାରିବ ।

ଡିରାକଙ୍କର ତତ୍ତ୍ୱରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ବଦଳରେ ଚାରିଗୋଟି ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ରହିଅଛି । ତେବେ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରୋସ୍କୋପ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ହିସାବରେ ଡିରାକଙ୍କର ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ତତ୍ତ୍ୱ କ୍ୱଚିତ ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇଥାଏ । ସାଧାରଣ ବ୍ୟବହୃତ ହେଉଥିବା ଗୋଟିଏ ସରଳକୃତ ଆକାରରେ ଦୁଇଟି ଫଳନ ψ_1 ଓ ψ_2 ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇଥାଏ । ଏ ଦୁଇଟିରୁ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଅକ୍ଷର ପ୍ରତି ଦିଗ (ଦୁଇଟି ଦିଗ) ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ବ୍ୟବହୃତ ହୁଏ । ପ୍ରଥମ ଆସନ୍ନରେ, ଶକ୍ତିରେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନର ଚୁମ୍ବକୀୟ ପ୍ରଭାବ ଉପେକ୍ଷା କରାଯାଇପାରେ । ଏହା କରାଯିବା ପରେ, ଗୋଟିଏ ଏକ-ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପରମାଣୁ ପାଇଁ ଶେଷ ଅନୁଚ୍ଛେଦରେ ବର୍ଣ୍ଣିତ ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ସବୁ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ହୋଇପାରେ; କେବଳ ଏତିକି ପ୍ରଭେଦ ଗୋଟିଏ ନୂତନ କ୍ୱାଣ୍ଟମସଂଖ୍ୟା (୪ର୍ଥ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା) m_s ସେଥିସଙ୍ଗେ ଯୋଗ କରିବାକୁ ହେବ । ଗୋଟିଏ ସମସ୍ତ ମୁକ୍ତ ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନକୁ ବର୍ଣ୍ଣନା କରି $\psi_{nlm_lm_s}$ ଚିହ୍ନଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇ ପାରିବ । m_sର ଦୁଇଟିରୁ ଗୋଟିଏ ମୂଲ୍ୟ ହୋଇ ପାରୁଥିବାରୁ, ଏହି

ଆସନ୍ନ ହିସାବରେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନର ପ୍ରଭାବ ହେଲା, କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାର ସଂଖ୍ୟାକୁ ଦୁଇଗୁଣ କରିଦେବା ।

14·7 ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-କକ୍ଷ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା :

ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଫଳରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଏକ ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ (ଅନୁ: ୯·୯) ରହିଅଛି, ଏହାର ପରିମାଣ $\mu_s = -2(e/2m)\sqrt{(\frac{1}{2})(\frac{3}{2})}\hbar$ । ତେଣୁ ଆମେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନକୁ ଗୋଟିଏ ଛୋଟ ଚୁମ୍ବକୀୟ ଦ୍ୱିମେରୁ ବୋଲି ଭାବି ପାରିବା –ଏହି ଦ୍ୱିମେରୁର ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ $\vec{\mu}_s$ ହେବ ଓ ଏହାର ଦିଗ ଘୂର୍ଣ୍ଣନର ବିପରୀତ ଦିଗକୁ ହେବ । ସରଳତା ଦୃଷ୍ଟିରୁ ଗୋଟିଏ ଏକ-ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପରମାଣୁ ବିଷୟରକୁ ନିଅ । ଏହାର କ୍ରମାଙ୍କ z ହେଉ । ଯଦି ନାଭିକ୍ ସ୍ଥାନରୁ ଦେଖିଲେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ଗତି କରୁଥାଏ, ଯେଉଁ ଅକ୍ଷ ପ୍ରଣାଳୀରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ କ୍ଷଣିକ ସ୍ଥିର ରହିଥିବ, ସେହି ଅକ୍ଷ ପ୍ରଣାଳୀରେ ଦେଖିଲେ ନାଭିକ୍ ସ୍ଥାନଟି $\vec{V}$ ଗତିବେଗରେ ଗତି କରୁଥିବ ଓ ସେହି କାରଣରୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସ୍ଥିର ଥିବା ସ୍ଥାନରେ B_l ପରିମାଣର ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ସୃଷ୍ଟି କରିଥିବ । ନାଭିକ୍ ସ୍ଥାନର ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ର E_N ମଧ୍ୟ ଦେଇ କକ୍ଷରେ ଗତି କରିବା ଫଳରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ସମୀକରଣ (୩·୩୪) ଦ୍ୱାରା

$$\left|\vec{B}_l\right| = \left|-\frac{1}{c^2}\left(\vec{V} \times \vec{E}_N\right)\right| = \frac{A_l}{m_e c^2 r}\ \frac{d\vec{P}}{dr} \qquad (୧୪·୧୭)$$

ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ପାଇବ । ଏଠାରେ $P = -\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r}$ ଓ କକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗ $\vec{A}_l = \vec{r} \times m\vec{V}$ ବୋଲି ଅମେ ବ୍ୟବହାର କରିଅଛୁ ।

ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକୀୟ ଦ୍ୱିମେରୁର ଶକ୍ତି ଦିଗ ଅନୁସାରେ ଭିନ୍ନ ହୋଇଥାଏ, ଦ୍ୱିମେରୁ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ କ୍ଷେତ୍ରକୁ ସମାନ୍ତର ଭାବେ ରହିଲେ, ଏହା ସବୁଠାରୁ କମ୍ ହୋଇଥାଏ । ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ଓ କ୍ଷେତ୍ର ପରସ୍ପର ପ୍ରତି ଲମ୍ବ ଭାବରେ ଥିଲାବେଳେ

ଯଦି ଶକ୍ତିକୁ ଶୂନ୍ୟ ବୋଲି ଧରାଯାଏ, ତେବେ ଶକ୍ତି ହେବ

$$E_{\mu B} = -\mu B \cos(\mu, B) = -\vec{\mu_s}\cdot\vec{B_l}$$

ନାଭିକ୍ଷ୍ଣ୍ୟର କ୍ଷେତ୍ର ମଧ୍ୟରେ ଘୂର୍ଣ୍ଣାୟମାନ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ ସମୀକରଣ (୯·୨୧) ଓ (୧୪·୧୭)କୁ ଆମେ ପାଇବା,

$$E_{\mu B} = \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 m^2c^2r^3}\vec{A_s}\cdot\vec{A_l} \qquad (୧୪·୧୮)$$

ଉକ୍ତ ହିସାବ ଏବେ ମଧ୍ୟ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ହୋଇନାହିଁ । କାରଣ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ତ୍ୱରାନ୍ୱିତ ହେଉଅଛି, ଏହା ଯେଉଁ ଅକ୍ଷ ପ୍ରଣାଳୀରେ କ୍ଷଣିକ ସ୍ଥିର ରହୁଅଛି, ତାହା ନିରବଚ୍ଛିନ୍ନ ଭାବରେ ବଦଳୁଅଛି । ଥମାସ୍ ଦେଖାଇଛନ୍ତି ଯେ ଏହି ଅବସ୍ଥା $E_{\mu B}$ ର ପରିମାଣକୁ ସମୀକରଣ (୧୪·୧୮) ଦ୍ୱାରା ମିଳୁଥିବା ପରିମାଣର ଅଧାକୁ କମାଇ ଦେଉଛି । ଯେତେବେଳେ ହାମିଲ୍ଟନିଆନ୍‌ରେ ଏହି କମ୍ ମୂଲ୍ୟକୁ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଉଛି ଓ ଅଲୋଡ଼ନ ହିସାବ କରାଯାଉଛି, ସେତେବେଳେ ଦେଖାଯାଉଛି ଯେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନକକ୍ଷ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଫଳରେ ଶକ୍ତିରେ ΔE_{ls} ପରିମାଣର ପରିବର୍ତ୍ତନ ଘଟୁଛି,

$$\Delta E_{ls} = \frac{1}{2}\frac{Z^4e^2\vec{A_s}\cdot\vec{A_l}}{4\pi\epsilon_0 m^2c^2a_B^3n^3l(l+\frac{1}{2})(l+1)}$$

ଏଠାରେ a_B ହେଉଛି ବୋର୍ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ($l \neq 0$) (୧୪·୧୯)

ଟର୍କ $\mu_s \times B_l$ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସଂବେଗ $\vec{A_s}$ ର ପରିମାଣରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ କରେନାହିଁ, ଏହାର ଦିଗ ବଦଳାଇଥାଏ । ପରିଣାମୀ କୌଣିକ ସଂବେଗ $\vec{A_l}+\vec{A_s}=\vec{A_j}$ କୌଣସି ବାହ୍ୟ ଚୁମ୍ବକୀୟ କ୍ଷେତ୍ର ନଥିଲେ ପରିମାଣ ଓ ଦିଗରେ ଏହା ଅପରିବର୍ତ୍ତିତ ରହିଥାଏ;

ଏତେବେଳେ $\vec{A_l}$ ଓ $\vec{A_s}$ ଭେକ୍ଟର ଦୁଇଟି ଏହା ଚାରିପଟେ ଘେରୁଥାଏ (ଚିତ୍ର ୧୪·୬)

14·8 କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା j :

ପରିଣାମୀ କୌଣିକ ସଂବେଗ $\vec{A}_j$ର ବର୍ଗର କେବଳ $j(j+1)\hbar^2$ କ୍ୱାଣ୍ଟିତ ମୂଲ୍ୟ ରହିପାରିବ; ଏଠାରେ $j=l$ ଓ $s=l\pm\frac{1}{2}$ । jର କେବଳ ଯୁକ୍ତ ମୂଲ୍ୟ ଅନୁମତି ଅଛି, ତେଣୁ $L=0$ ପାଇଁ $j=\frac{1}{2}$ କେବଳ ହେବ । ଓ ଚିହ୍ନଟି କେବଳ କ୍ୱାଣ୍ଟିତ ଭେକ୍ଟର ଯୋଗଫଳ ସୂଚାଇବା ପାଇଁ ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇଅଛି, ଅତଏବ $a+b$ର ମୂଲ୍ୟସବୁ ହେବ $a+b, a+b-1, \cdots, |a-b|$ । ତେଣୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର (ଘୂର୍ଣ୍ଣନ+କକ୍ଷୀୟ) ପରିଣାମୀ କୌଣିକ ସଂବେଗର ପରିମାଣ ହେଲା,

$$A_j=\sqrt{j(j+1)}\hbar \qquad \text{ଏଥିରେ } j=|l\pm\tfrac{1}{2}| \qquad (୧୪·୨୦)$$

$\vec{A}_j$ର z ସଂଯୋଜକ

$$(\vec{A}_j)_z=m_j\hbar \quad -j\leq m_j\leq j \qquad (୧୪·୨୧)$$



[ଚିତ୍ର ୧୪·୬ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-କକ୍ଷ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଫଳରେ $\vec{A}_l$ ଓ $\vec{A}_s$, A_j ଚାରିପଟେ କେନ୍ଦ୍ରଭ୍ରମଣ କରନ୍ତି, କୌଣସି ଟର୍କ ଏହା ଉପରେ କାର୍ଯ୍ୟ କରୁନଥିଲେ A_j ସ୍ଥାନ ମଧ୍ୟରେ ସ୍ଥିର ରହିଥାଏ ।]

ମଧ୍ୟରୁ ଗୋଟିଏ କ୍ୱାଣ୍ଟିକୃତ ମୂଲ୍ୟ ଗ୍ରହଣ କରିବ । ଏଠାରେ $j, j-1, \cdots j$ ମଧ୍ୟରୁ m_j ଗୋଟିଏ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ହେବ । ତେଣୁ $j=\frac{3}{2}$ ପାଇଁ, $m_j=\frac{3}{2}, \frac{1}{2}, -\frac{1}{2}, -\frac{3}{2}$ ।

ହାମିଲ୍‌ଟନିଆନ୍‌ରେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-କକ୍ଷ ପାରସ୍ପରିକକ୍ରିୟା ପୂରାଇବା ପୂର୍ବରୁ ଏକ-ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ୍ ପରମାଣୁର କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକୁ ସ୍ଥିର କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା n, l, m_l ଓ m_s ଦ୍ୱାରା ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ କରିଦେବା ଦରକାର, ଏହି ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ $\vec{A}_s$ ଓ $\vec{A}_l$ର z ସଂଯୋଜକ ପାଇଁ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଭାବରେ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ମୂଲ୍ୟସବୁ ଆରୋପ କରାଯାଇଥାଏ । ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-କକ୍ଷ ପାରସ୍ପରିକକ୍ରିୟା ପ୍ରଭାବକୁ ନେଲେ ପ୍ରକୃତ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ $\vec{A}_j$ର ଓ $(\vec{A}_j)_z$ର ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ମୂଲ୍ୟ ଦ୍ୱାରା ପରିଚିତ ହୋଇଥାନ୍ତି । ତେଣୁ ଉପଯୁକ୍ତ ସ୍ଥିର କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା ହେଲା n, l, j ଓ m_j । $\vec{A}_j$ କ୍ୱାଣ୍ଟିକୃତ ହେବାବେଳେ $\vec{A}_l$ ଓ $\vec{A}_s$ର ସମସ୍ତ ସଂଯୋଜକ ଅନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ହେବା ଗୋଟିଏ ସାଧାରଣ ନିୟମର ଏକ ଉଦାହରଣ । ଯେତେବେଳେ ଦୁଇ ବା ତତୋଧିକ କୌଣିକ ସଂବେଗର ଭେକ୍ଟର ଯୋଗଫଳ କ୍ୱାଣ୍ଟିକୃତ ହୁଏ, ସଂବେଗ ବିଶେଷର କୌଣସି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ସଂଯୋଜକ ରହେନାହିଁ, ମାତ୍ର ସେମାନଙ୍କର ବର୍ଗଗୁଡ଼ିକର ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରିମାଣ ଥାଏ; ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, $l(l+1)\hbar^2$ । ପୁରାତନ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀରେ ଭେକ୍ଟରଗୁଡ଼ିକ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ଦିଗକୁ ମୁହଁ କଲେ ମଧ୍ୟ ସେମାନଙ୍କର ଭେକ୍ଟର ଯୋଗଫଳ ଅପରିବର୍ତ୍ତିତ ରହିପାରେ, ଏହା ତାର ଅନୁରୂପ ।

ବର୍ତ୍ତମାନ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ j ଉପରେ ନିର୍ଭର କଲା, ଠିକ୍ ଯେପରି n ଓ l ଉପରେ ନିର୍ଭର କରୁଥିଲା । ତେଣୁ ପ୍ରତି nl ସ୍ତର $l>0$ ପାଇଁ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କକ୍ଷ ପ୍ରଭାବ ଫଳରେ ଦୁଇ ଦୁଇ ଭାଗରେ ବିଭକ୍ତ ହୋଇଗଲା । $\vec{A}_j=\vec{A}_l+\vec{A}_s$ ହୋଇଥିବାରୁ ଆମେ ପାଉ,

$$\vec{A}_j\cdot\vec{A}_j=(\vec{A}_l+\vec{A}_s)\cdot(\vec{A}_l+\vec{A}_s)=A_l^2+A_s^2+2\vec{A}_s\cdot\vec{A}_l \text{ ବା}$$

$$\vec{A}_s\cdot\vec{A}_l=A_s\,A_l\cos(A_s\,A_l)=\frac{1}{2}(A_j^2-A_l^2-A_s^2)$$

$$=\frac{j(j+1)-l(l+1)-S(S+1)}{2}\hbar^2 \qquad (୧୪\cdot୨୨)$$

ସମୀକରଣ (୧୪'୨୨)କୁ ସମୀକରଣ (୧୪'୧୯)ରେ ବସାଇଲେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-କକ୍ଷ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଫଳରେ ଘଟୁଥିବା ଶକ୍ତି ସ୍ତରରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ΔE_n ହେବ ($l \neq 0$)

$$\Delta E_n = \frac{e^2 \hbar^2}{16\pi \epsilon_0 m^2 c^2 a_B^3} \frac{Z^4[j(j+1) - l(l+1) - s(s+1)]}{n^3\, l(l+\frac{1}{2})(l+1)}$$

(୧୪.୨୩)

ଏଠାରେ ପ୍ରଥମ ଭଗ୍ନାଂଶ ହେଲା $\frac{Rhc\alpha^2}{2}$ ବା 3.62×10^{-4} eV । ଯେଉଁ ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ $l>0$, ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-କକ୍ଷ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ତାକୁ ଦୁଇ ଭାଗରେ ବିଭକ୍ତ କରି ଦେଉଛି, $j=l-\frac{1}{2}$ ପାଇଁ ଶକ୍ତି ବଢ଼ାଇ ଦେଉଛି ଓ $j=l-\frac{1}{2}$ ପାଇଁ ଶକ୍ତି କମାଇ ଦେଉଛି । ଏହି ସ୍ତରମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରଭେଦ ଦେଖାଇବା ପାଇଁ ଯେଉଁ ଅକ୍ଷର l ବୁଝାଏ, ସେଥିରେ ସାଧାରଣତଃ ଗୋଟିଏ ପାଦଲେଖ ଯୋଗ କରାଯାଇଥାଏ; ଅତଏବ 3P ସ୍ତରର ବିଭାଜନ ଫଳରେ ଯେଉଁ ଦୁଇଟି ସ୍ତର ମିଳିଥାଏ, ତାକୁ ଲେଖାଯାଏ $3P_{\frac{1}{2}}$ ଓ $3P_{\frac{3}{2}}$ ।

s ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକର କକ୍ଷୀୟ-କୌଣିକ ସଂବେଗ ନଥିବାରୁ ($l=0$), s ସ୍ତର ପାଇଁ କୌଣସି ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-କକ୍ଷ ସଂଶୋଧନ ନାହିଁ । ତେବେ, ଆପେକ୍ଷିକୀୟ ତତ୍ତ୍ୱରେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-କକ୍ଷ ପ୍ରଭାବ ଦେବା ପଦ ଛଡ଼ା ଅନ୍ୟାନ୍ୟ କ୍ଷୁଦ୍ର କ୍ଷୁଦ୍ର ପଦ ସବୁ ଥାଏ । ଏହି ପଦଗୁଡ଼ିକ l ସହିତ ଶକ୍ତିର ପରିବର୍ତ୍ତନ କରାଉଥାନ୍ତି; ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟଭାବରେ କହିଲେ $l=0$ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସଂଶୋଧନ କରିବାକୁ ହୁଏ । ଏଠାରେ ଯେଉଁ ସଂଶୋଧନଗୁଡ଼ିକ ଉପେକ୍ଷା କରାଗଲା, ତାଫଳରେ ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକର ସୂକ୍ଷ୍ମ ଗଠନ ଜଟିଳ ହେଲା । ଏହା ବହୁଳ ଭାବରେ ପରୀକ୍ଷା ଓ ତାତ୍ତ୍ୱିକ ଗବେଷଣାର ବିଷୟ ହୋଇଛି ଏବଂ ଏହା ଫଳରେ ପ୍ରକୃତିର ବହୁ ରହସ୍ୟପୂର୍ଣ୍ଣ ଘଟଣା ବୁଝିବା ସମ୍ଭବ ହୋଇଛି ।

14-9 ତରଙ୍ଗ ଫଳନର ସ୍ଥାନୀୟ ବିକାଶ :

ଗୋଟିଏ କ୍ଷେତ୍ରଶୂନ୍ୟ ସ୍ଥାନରେ z ଦିଗଟିକୁ ଦର୍ଶାଇବା ପାଇଁ କୌଣସି କ୍ଷେତ୍ର ନଥାଏ । ଏପରି ଏକ ସ୍ଥାନରେ କଣିକା ପାଇଁ ଯେକୌଣସି ଦିଗରେ ପୋଲାର ଅକ୍ଷ ଟଣାଯାଇପାରେ । ତେଣୁ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକର ତରଙ୍ଗ ଫଳନଗୁଡ଼ିକ ସବୁ ସମ୍ପୃକ୍ତ

ସେଟକି କେତେକ ପରିମାଣରେ ମନଇଚ୍ଛା ବାଛି ହୁଏ । ତରଙ୍ଗ ଫଳନଗୁଡ଼ିକ ଏପରି ମନ ଇଚ୍ଛା ବସ୍ତୁବଛି ବକାଶର ସାଧାରଣ ଘଟଣାର ଅନ୍ୟ ଏକ ଦିଗ ଏବଂ ଏହାର ଗାଣିତିକ ଦିଗଗୁଡ଼ିକ ଅଧିକ ଆଲୋଚନା ଆବଶ୍ୟକ କରିଥାଏ ।

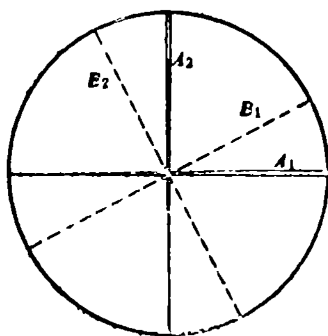
ଯେତେବେଳେ ଶକ୍ତିର ଏକା ମୂଲ୍ୟ E ସହିତ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ସମ୍ପୃକ୍ତ ଥାଏ, ସେହି ଶକ୍ତି ପାଇଁ ଉକ୍ତ ତରଙ୍ଗ ଫଳନଗୁଡ଼ିକର ଯେକୌଣସି ସରଳରୈଖିକ ଯୋଗଫଳ ମଧ୍ୟ ଏକ ଫଳନ ହେବ । ତେଣୁ $\psi_1, \psi_2 \cdots\cdots \psi_k$ ସମୀକରଣ (୧୪·୩a)ର $E=E_n$ ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ସମାଧାନ ହୁଅନ୍ତି । ତେବେ ସକଳ ରୈଖିକ ଯୋଗଫଳ ψ' ମଧ୍ୟ ଗୋଟିଏ ସମାଧାନ ହେବ, ଏଠାରେ

$$\psi' = c_1\psi_1 + c_2\psi_2 + c_3\psi_3 + \cdots\cdots + c_k\psi_k \qquad (୧୪·୨୪)$$

ଓ $c_1, c_2, c_3 - \cdots\cdots c_k$ ଗୁଡ଼ିକ ଯେକୌଣସି ଧ୍ରୁବ । ତେଣୁ ଶକ୍ତି E_n ପାଇଁ $\psi_1, \psi_2, \psi_3 \cdots\cdots \psi_k$ରୁ କୌଣସି ଫଳନ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାଟି ସୂଚାଇବା ପାଇଁ ଯେପରି ସମର୍ଥ, ψ' ମଧ୍ୟ ସେହିପରି ସମର୍ଥ । ତେଣୁ E_n ସହିତ ସମ୍ପୃକ୍ତ ସମ୍ଭାବ୍ୟ ତରଙ୍ଗ ଫଳନଗୁଡ଼ିକ ସଂଖ୍ୟାରେ ଅସୁମାରି । ତେବେ ଗୋଟିଏ ସଂଖ୍ୟା K ସ୍ଥିର କରିବା ସମ୍ଭବ ଯେପରିକି ଏହି kଟି ଫଳନ ସାହାଯ୍ୟରେ ଅନ୍ୟ ସମସ୍ତଙ୍କୁ ସରଳ ରୈଖିକ ଯୋଗଫଳ ଭାବରେ ପ୍ରକାଶ କରି ହେବ । ଏହି kଟି ଫଳନକୁ ଅସଂଖ୍ୟ ଉପାୟରେ ବଛାଯାଇ ପାରିବ, କିନ୍ତୁ ସେମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ସର୍ବଦା k ରହିବ ।

କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କରେ ବକାଶର ପ୍ରଚଳନ ଭଙ୍ଗୀରେ ଗୋଟିଏ ଠିକ୍ ଅନୁରୂପ ରହିଅଛି । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ଗୋଟିଏ ଡ୍ରମ ତା'ର କୌଣସି ଏକ ଭଇ ଆବୃତ୍ତିରେ ତା'ର କୌଣସି ଏକ ବ୍ୟାସକୁ ସ୍ଥିର ରେଖା ବା ନୋଡ଼ାଲ ରେଖା ଭାବରେ ରଖି ସ୍ପନ୍ଦିତ ହୋଇପାରିବ । ଏହି ନୋଡ଼ାଲ୍ ରେଖା ଚିତ୍ର ୧୪·୭ର A_1, B_1, B_2 ପ୍ରଭୃତି ଯେ କୌଣସି ରେଖା ହୋଇପାରେ । ତେଣୁ ଏ ଆବୃତ୍ତିରେ ସ୍ପନ୍ଦନ ଗତି ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପ୍ରକାରର ନୁହେ । ତେବେ ଯେ କୌଣସି ଦୁଇଟି ଗତିକୁ ମୌଳିକ ଗତି ବୋଲି ବାଛିବା ସମ୍ଭବ, ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, A_1 ଓ A_2 ବା B_1 ଓ B_2 ଏବଂ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଥିବା ଆବୃତ୍ତିରେ ଯେକୌଣସି କମ୍ପନରେ ବସ୍ଥାପନକୁ ଏହି ଦୁଇଟି ମୌଳିକ ଗତିର କମ୍ପନର ଉପଯୁକ୍ତ ବିସ୍ତାରର ଉପରି ସ୍ଥାପନ ଦ୍ୱାରା ଲେଖି ହେବ । ଗୋଟିଏ ଦତ୍ତ ଘଟଣାରେ ଯେଉଁ ପ୍ରକାରର କମ୍ପନ

ପ୍ରକୃତରେ ଘଟିବ, ତାହା କ୍ରମଟି ଯେଉଁ ପ୍ରଣାଳୀରେ କର୍ମିତ ହେଲା, ତା ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିବ । ସେହିପରି ଯେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଶକ୍ତି ଦ୍ୱାରା ସୂଚିତ ହୋଇଥିବା ବିଭିନ୍ନ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାରେ ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁ ରହିଥାଏ, ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାରେ ଏହା ଥାଏ ନା ବିଭିନ୍ନ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାର ମିଶ୍ରଣ ଅବସ୍ଥାରେ ଥାଏ, ତାହା ଏହାର ପୂର୍ବ ଇତିହାସ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିଥାଏ ।



ଚିତ୍ର ୧୪'୭

ଏକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପରମାଣୁ ଘଟଣାରେ, ଯଦି ପୋଲାର ଅକ୍ଷ ପ୍ରଣାଳୀର ଅକ୍ଷକୁ ଗୋଟିଏ ଭିନ୍ନଦିଗରେ ନିଆଯାଏ, ψ_{nlm_l} ପାଇଁ ଥିବା ଉକ୍ତିରେ $R_{nl}(r)$ ଗୁଣକଟି ପୂର୍ବ ମୂଲ୍ୟ ସହ ସମାନ ରହିବ, କିନ୍ତୁ ଦିଗବାଚୀ ଗୁଣକ $e^{im_l\phi} P_l^m(\cos\theta)$ର (ଜ୍ୟାମିତିକ ମୂଲ୍ୟ ବିଭିନ୍ନ ହୋଇଯିବ । ତେବେ, ଏହା ଦେଖାଇ ହେବ ଯେ, ନୂଆ ଦିଗବାଚୀ ଗୁଣକଟି ମୂଳ ଅକ୍ଷ ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ ଦିଗବାଚୀ ଗୁଣକମାନଙ୍କର ସରଳ ରୈଖିକ ଯୋଗଫଳ ଭାବରେ ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇ ପାରିବ; ପ୍ରକୃତରେ lର ଏକା ମୂଲ୍ୟ ସଙ୍ଗେ ସମାନ $2l+1$ ସଂଖ୍ୟକ ଗୁଣକମାନଙ୍କ ସାହାଯ୍ୟରେ ଉକ୍ତ ପ୍ରକାଶନ ସମ୍ଭବ ହେବ ।

ଦତ୍ତ n ଓ l ପାଇଁ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କର ଅସଂଖ୍ୟ ପ୍ରକାର ଗୋଟିଏ ବୋର୍ କକ୍ଷର ଅସଂଖ୍ୟ ବିଭିନ୍ନ ଦିଗ ପରିବର୍ତ୍ତନର ଅନୁସାରୀ ଏବଂ ଏହା ସ୍ଥାନର ସମାଙ୍ଗୀଗୁଣ ସହିତ ଘନିଷ୍ଠ ଭାବରେ ସଂପୃକ୍ତ ।

ପରିଶିଷ୍ଟ ୧୪(କ) ବ୍ୟାସର୍ଦ୍ଧୀୟ ସମୀକରଣର ସମାଧାନ

ସମୀକରଣ (୧୪·୮)କୁ R (r) ପାଇଁ ସମାଧାନ କରିବାକୁ ହେଲେ,

$$\alpha = \frac{\sqrt{-8m_r E}}{\hbar} \quad \lambda = \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0\hbar}\sqrt{\frac{m_r}{-2E}} \text{ ଓ } \rho = \alpha r$$

ଲେଖିବା ସୁବିଧାଜନକ ।

ତେବେ ସମୀକରଣ (୧୪·୮) ହେବ

$$\frac{d^2R}{d\rho^2} + \frac{2}{\rho}\frac{dR}{d\rho} + \left[\frac{\lambda}{\rho} - \frac{1}{4} - \frac{l(l+1)}{\rho^2}\right]R = 0$$

(୧୪କ·୧)

ପ୍ରଥମେ $\rho \to \infty$ ପାଇଁ ଆମେ ଏକ ଆସିମ୍‌ଟୋଟୀୟ ସମାଧାନ ଲୋଡ଼ିବା । ଏଥିପାଇଁ

$$\frac{d^2R}{d\rho^2} - \frac{R}{4} = 0 \text{ ଓ } R(\rho) = B_1 e^{\rho/2} + Be^{-\rho/2}$$

ଏକ୍ସପୋନେନ୍‌ସିଆଲ୍‌ରେ ଯୁକ୍ତ ଶବ୍ଦ $p \to \infty$ ପାଇଁ $R \to \infty$ କରି ଦେଉଥିବାରୁ, ଆମେ $B_1 = 0$ ନେବା ଓ R (ρ)କି

$$R(\rho) = e^{-\rho/2} F(p) \quad \text{(୧୪କ·୨)}$$

ଆକାରରେ ଲେଖାଯାଇ ପାରିବ ବୋଲି ଅନୁମାନ କରିବା; ଏଠାରେ $F(\rho)$ କଥିତ

$$\frac{d^2F}{d\rho^2} + \left(\frac{2}{\rho} - 1\right)\frac{dF}{d\rho} + \left[\frac{\lambda - 1}{\rho} - \frac{l(l+1)}{\rho^2}\right]F = 0$$

(୧୪କ·୩)

ସମୀକରଣକି ସନ୍ତୁଷ୍ଟ କରିବ । ଏହି ସମୀକରଣଟିକୁ ଶକ୍ତି ଶ୍ରେଣୀ ପ୍ରଣାଳୀରେ ସମାଧାନ କରାଯାଇପାରେ । ଏଥିପାଇଁ ଅନୁମାନ କରାଯାଇପାରେ ଯେ,

$$F(\rho) = \rho^s (\alpha_0 + a_1 \rho + a_2 \rho^2 + \cdots\cdots)$$

$$= \rho^s \sum_{j=0}^{\infty} a_j \rho^j \quad \text{(୧୪କ·୪)}$$

ଏଠାରେ ρ^s ଯୋଗକୁ ପୂର୍ବରୁ ବାଦ ଦିଆଯାଇଥିଲା କାରଣ $\rho=0$ ଠାରେ ଏହା ବିଶେଷତାର ଯତ୍ନ ନେଇ ପାରିବ । ସମୀକରଣ (୧୪କ'୪)କୁ ସମୀକରଣ (୧୪କ'୩)ରେ ବସାଇଲେ ମିଳିବ,

$$\sum_{j=0}^{\infty}\Big[(s+j)(s+j-1)a_j\rho^{s+j-2}+2(s+j)a_j\rho^{s+j-2}$$

$$-(s+j)a_j\rho^{s+j-1}-a_j\rho^{s+j-1}+\lambda a_j\rho^{s+j-1}$$

$$-l(l+1)a_j\rho^{s+j-2}\Big]=0 \qquad \text{ବା}$$

$$[s(s+1)-l(l+1)]a_0\rho^{s-2}+\sum_{j=1}^{\infty}\{[(s+j)(s+j+1)$$

$$-l(l+1)]a_j-(s+j-\lambda)a_{j-1}\}\rho^{s+j-2}=0$$

ρର ପ୍ରତି ଶକ୍ତିର ସହଗ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଭାବରେ ଲୋପ ହେବା ଦରକାର ହେଉଥିବାରୁ ମିଳିବ,

$s(s+1)-l(l+1)=0$ indicial ସମୀକରଣ (୧୪କ'୫କ)

$(s+j-\lambda)a_{j-1}=[(s+j)(s+j+1)-l(l+1)]a_j$ (୧୪କ'୫ଖ)

indicial ସମୀକରଣ ଦରକାର କରେ ଯେ $s=l$;

$S=-(l+1)$ ସମାଧାନଟିକୁ ବାଦ ଦିଆଯାଇଅଛି କାରଣ ଯଦି $r=0$ଠାରେ Rର କୌଣସି ବିଶେଷତା ନଥାଏ, ତେବେ S ଧନାତ୍ମକ ଯୁକ୍ତ ହେବ । ତେଣୁ recurrence ସମ୍ବନ୍ଧ (୧୪କ'୫ଖ) ହେବ,

$$a_j=\frac{l+j-\lambda}{(l+j)(l+j+1)-l(l+1)}a_{j-1}$$

$$j=1,2,3\cdots \qquad (୧୪କ'୬)$$

ଯଦି $r=\infty$ଠାରେ R ଶୂନ୍ୟ ହୁଏ, $F(\rho)$ ପାଇଁ ସିରିଜ୍‌ଟି ଠାଏ ନିଶ୍ଚୟ ଶେଷ ହେବ ଓ $\lambda=l+j$ ଠାରେ ଏହା ହେବ । ଯଦି $\lambda=n$, l ଠାରୁ ଅଧିକ ଗୋଟିଏ

ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ହୁଏ, ସିରିଜଟି $n-l$ଟି ସଂଖ୍ୟା ପରେ ବନ୍ଦ ହୋଇଯିବ ଏବଂ ଅନନ୍ତଠାରେ R ଶୂନ୍ୟ ହୋଇଯିବ । କିନ୍ତୁ λକୁ

$$\lambda = \frac{Ze^2}{4\pi \in_0 \hbar}\sqrt{\frac{m_r}{-2E}}$$

ବୋଲି ମୂଳ ସଂଜ୍ଞାରୁ ଲେଖାଯାଇଅଛି । ତେଣୁ ଶ୍ରୁଡ଼ିଞ୍ଜର ସମୀକରଣ Eର କେବଳ

$$E_n = -\frac{m_r e^4 z^2}{32\pi^2 \in_0^2 \hbar^2 n^2} = -\frac{m_r e^4 z^2}{8 \in_0^2 h^2 n^2} \qquad (୧୪ଡ଼.୭)$$

ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ ସନ୍ତୁଷ୍ଟ ହୋଇପାରିବ । αର ସଂଜ୍ଞାରେ Eର ଏହି ମୂଲ୍ୟ ବସାଇଲେ ମିଳିବ,

$$\alpha_n = \sqrt{\frac{8m_r^2 e^4 z^2}{32\pi^2 \in_0^2 \hbar^2 n^2}}\ \frac{1}{\hbar} = \frac{2m_r e^2 z}{4\pi \in_0 \hbar^2 n} = \frac{2z}{na_B} \qquad (୧୪ଡ଼.୮)$$

ଏଠାରେ a_B ହେଲେ ବୋର୍ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ $(=4\pi\in_0\hbar^2/m\hbar^2 = 0{\cdot}529\times 10^{-10}\,m)$

ସମୀକରଣ (୧୪.୮)ର ସମାଧାନ $R_{nl}(r)$ ଗୁଡ଼ିକ (୧) ସ୍ୱକୃତନ୍ତ୍ର କରିବା ଧ୍ରୁବ c_{nl} (୨) $e^{-\alpha nr}$ ଓ (୩) $^{\alpha nr}$ରେ ପ୍ରକାଶିତ ଗୋଟିଏ ବହୁ ପଦରାଶିର $n-1$ ସଂଖ୍ୟକ ପଦର ଗୁଣଫଳ । ଏହି ବହୁପଦରାଶିଟି $(\alpha_n r)^l$ ଓ ସଂପୃକ୍ତ ଲାଗୁରେ ବହୁପଦ ରାଶି $L_{n+l}^{2l+1}(\alpha_n r)$ର ଗୁଣଫଳ ।

ପ୍ରଶ୍ନାବଳୀ

୧ । ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥା ପାଇଁ rର ସର୍ବାଧିକ ସମ୍ଭାବ୍ୟ ମୂଲ୍ୟ ହେଲା, ବୋର୍ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ a_B ଓ rର ଆଶା କରାଯିବା ମୂଲ୍ୟ ହେଲା, $3a_B/2$ ବୋଲି ଦେଖାଅ ।

୨ । ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁର ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ସ୍ଥିତଜ ଶକ୍ତି p ଓ ଗତିଜ ଶକ୍ତି kର ଆଶା କରାଯିବା ମୂଲ୍ୟ ହିସାବ କର । ବୋର୍ ମଡେଲରେ ମିଳୁଥିବା p ଓ k ମୂଲ୍ୟ ସହ ଏହାକୁ ତୁଳନା କର ।

୩ । ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ଛଅଟି $2P$ ଅବସ୍ଥା ପାଇଁ ($m_l = 1, 0, -1$, $m_s = +\frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$)$\psi^*\psi$ ମୂଲ୍ୟଗୁଡ଼ିକର ଯୋଗଫଳ ଗୋଲକାକାର ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ବୋଲି ଦେଖାଅ ଅର୍ଥାତ୍ ଏହା କେବଳ rର ଫଳନ ବୋଲି ଦେଖାଅ ।

୪ । ଗୋଟିଏ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାର ଶକ୍ତି ଥାଇ ପ୍ରୋଟନଠାରୁ ପୁରାତନ ହିସାବ ଅନୁସାରେ କେତେଦୂରକୁ ଯାଇ ପାରିବ ? ଦେଖାଅ ଯେ, ଏହି ପୁରାତନ ଲିମିଟ୍ ବା ପ୍ରୋଟନଠାରୁ ଏହା ଅପେକ୍ଷା ଅଧିକ ଦୂରରେ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁର ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ଥିବାର କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଯାନ୍ତ୍ରିକ ଅନୁସାରେ ସମ୍ଭାବନା ପ୍ରାୟ ଶତକଡ଼ା ୨୫ (ପ୍ରକୃତରେ $13e^{-4}$) ।

୫ । କକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗର ବର୍ଗ ପାଇଁ ଯେଉଁ ଅପରେଟର କାର୍ଟିସୀୟ ଅକ୍ଷ ପ୍ରଣାଳୀରେ ସମୀକରଣ (୧୩.୧୭) ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୁଏ, ତାହା ଗୋଲକାକାର ପୋଲର ଅକ୍ଷ ପ୍ରଣାଳୀରେ ସମୀକରଣ (୧୪.୧୨) ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୁଏ ବୋଲି ଦେଖାଅ ।

୬ । ଦେଖାଅ ଯେ କମ୍ୟୁଟେଟର ଅପରେଟର $\hat{A}_x \hat{A}_y - \hat{A}_y \hat{A}_x$, $i \hbar \hat{A}_z$ ସହ ସମାନ ।

୭ । ଦେଖାଅ ଯେ ଏକ-ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପରମାଣୁ ପାଇଁ ହାମିଲ୍ଟନୀୟ ଅପରେଟର

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2 = \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r}$$

କୌଣିକ ସଂବେଗର ସଂଯୋଜକ ପାଇଁ ଅପରେଟର ସହ କମ୍ୟୁଟ କରିବ

ଅର୍ଥାତ୍ $\hat{H}(\hat{A}_1)_z - (\hat{A}_1)_z \hat{H} = 0$

୮ । ଦେଖାଅ ଯେ, ଗୋଟିଏ ଭର୍ କକ୍ଷ ପାଇଁ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-କକ୍ଷ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାଜନିତ ଶକ୍ତି ପ୍ରତି ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି Pର ଆନୁପାତ $|P/2mc^2| = E_n/mc^2$ । କୋଟୀର ହେବ ।

୯ । ବସ୍ତୁତ୍ୱ m ଓ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ R ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ କଠିନ ସିଲିଣ୍ଡରର ବକ୍ର ପୃଷ୍ଠତଳରେ ଚାର୍ଜ q ସମପରିମାଣରେ ବଣ୍ଟନ ହୋଇ ରହିଅଛି । ଯଦି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଏହି ଚେକର୍ ମଡେଲ୍ (checker model) ନିଜ ଅକ୍ଷ ଚାରିପଟେ କୌଣିକ ଗତିବେଗ wରେ ଘୂରେ, ଗାଇରୋଚୁମ୍ବକୀୟ ଅନୁପାତ ହିସାବ କର ।

୧୦ । ଗୋଲକାକାର ଅକ୍ଷପ୍ରଣାଳୀରେ ଅପରେଟର A_1^2 $(A_1)_z$ ସାହାଯ୍ୟରେ ସିଧାସଳଖ ଭାବରେ ଫଳନ $f(\theta) = 5\cos^3\theta - 3\cos\theta$ ଉପରେ ଅପରେଟ୍ କରି ଦେଖାଅ ଯେ, $f(\theta)$ ଦୁଇ ଅପରେଟରଙ୍କର ଗୋଟିଏ ଆଇଗେନ ଫଳନ । ଅନୁରୂପ ଆଇଗେନ ମୂଲ୍ୟଗୁଡ଼ିକ କଣ ?

୧୧ । ସମୀକରଣ (୧୩.୧୭) ଓ (୧୪.୧୨)ରେ ସିଧାସଳଖ ସ୍ଥାପନ କରି ଦେଖାଅ ଯେ, $15\sin^2\theta\cos\theta\, e^{2i\phi}$ କୌଣିକ ସଂବେଗ ଅପରେଟର $\hat{A}_1^2$ ଓ $(\hat{A}_1)_z$ର ଗୋଟିଏ ଆଇଗେନ ଫଳନ ।

୧୨ । ହାଇଡ୍ରୋଜେନର $n = 1$ ଅବସ୍ଥାର ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ପରିମାପ ନେବାପରେ ତରଙ୍ଗ ଫଳନର କୌଣିକ ଅଂଶର ଆକାର ହେଲା $\sqrt{3/4\pi}\sin\theta\sin\phi$ ।

(କ) $\langle(A_1)_z\rangle$ ହିସାବ କର ।

(ଖ) $(A_1)_z$ ର ଏକ ପରିମାପର ମୂଲ୍ୟ $\hbar$ ହେବାର ସମ୍ଭାବନା ବାହାର କର ।

୧୩ । ଯଦି $Pc \leq m_0c^2$ ହୁଏ, ଦେଖାଅ ଯେ ଆପେକ୍ଷିକୀୟ ସଂଶୋଧନ [ସମୀକରଣ (୧୪·୧୬)] ହେବ

$$\triangle E = -\int \psi_n^* \frac{\hbar^4}{8m^3c^2} \nabla^4 \psi_n dU$$

ସୂଚନା : ହାମିଲ ଟନିଆନକୁ $H = \sqrt{p^2c^2 + m_0^2c^4} - m_0c^2 + P$ ବୋଲି ଲେଖ, Pରେ ସିରିଜ୍ ଆକାରରେ ପ୍ରସାର କର ଓ ପ୍ରଥମ କୋଟୀ ଅଲୋଡ଼ନ ତତ୍ତ୍ୱ ବ୍ୟବହାର କର ।

୧୪ । ଯଦି ପ୍ରୋଟନ ଚାର୍ଜ, $a = 1{\cdot}2 \times 10^{-15}\,m$ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ଗୋଲକରେ ସମପରିମାଣରେ ବାଣ୍ଟି ହୋଇ ରହିଅଛି ବୋଲି ଅନୁମାନ କରାଯାଏ, ତେବେ ପ୍ରଥମ କୋଟୀ ଆଲୋଡ଼ନ ତତ୍ତ୍ୱ ବ୍ୟବହାର କରି ପ୍ରୋଟନର ସସୀମ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ଫଳରେ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁର ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହିସାବ କର ।

ଉତ୍ତର : $\triangle E \simeq 7 \times 10^{-9}\,eV$.

୧୫ । ଗୋଟିଏ ବିଭବ $P(r)$ [$r \leq a$ ପାଇଁ $P(r) = 0$ ଓ $r > a$ ପାଇଁ $P(r) = \infty$] ଦ୍ୱାରା ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ a ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ଗୋଲକ ମଧ୍ୟରେ ଆବଦ୍ଧ ରହିଅଛି । ଦେଖାଅ ଯେ, ଶୂନ୍ୟ କୌଣିକ ସଂବେଗ ବିଶିଷ୍ଟ ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କର ଆଇଗେନ ଫଳନ ψ

$(r) =$ ଧ୍ରୁବ $\dfrac{(\sin kr)}{kr}$ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ । k ଏବଂ ଶକ୍ତି ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ସମ୍ବନ୍ଧ ସ୍ଥିର କର ଓ ଦେଖାଅ ଯେ, ଶକ୍ତି ଆଇଗେନ ମୂଲ୍ୟଗୁଡ଼ିକ ହେଲା $n^2h^2/8ma^2$ ।

୧୬ । ଯଦି $r \leq a$ ପାଇଁ $Pc(r) = 0$ ଓ $r > a$ ପାଇଁ $P(r) = P_0$ ହୁଏ, P_0 ପାଇଁ ଏପରି ଏକ ସର୍ବନିମ୍ନ ମୂଲ୍ୟ ସ୍ଥିର କର ଯାହା ପାଇଁ ଶୂନ୍ୟ କୌଣିକ ସଂବେଗ ଓ ଶକ୍ତି P_0 ଥାଇ ଗୋଟିଏ ବଦ୍ଧ ଅବସ୍ଥା ରହିଥିବ ।

ଉତ୍ତର : $h^2/32ma^2$

୧୭ । ଦ୍ୱିବିମିତିକ ଦୋଳକ ସମସ୍ୟାଟି (୧୬ ଅଧ୍ୟାୟ ପ୍ରଶ୍ନ ୧୦) ଗୋଲକାକାର ପୋଲାର ଅକ୍ଷମଣ୍ଡଳରେ ମଧ୍ୟ ସମାହିତ ହୋଇ ପାରିବ । $P=\frac{1}{2}m\omega^2r^2$ ନେଇ ଏହି ଅକ୍ଷ ମଣ୍ଡଳରେ ଶ୍ରୁଡିଙ୍ଗରଙ୍କ ସମୀକରଣ ସମାଧାନ କର । କୌଣିକ ସଂବେଗର ଆଇଗେନ ମୂଲ୍ୟଗୁଡ଼ିକ କଣ ?

୧୮ । ତରଙ୍ଗଫଳନ ψ_{211} ଗୋଟିଏ ଆବର୍ତ୍ତିମାନ ସ୍ରୋତ ବୁଝାଉଅଛି । ସମୀକରଣ (୧୬.୪୧)କୁ ବ୍ୟବହାର କରି ଏହି ସ୍ରୋତ ସହ ସଂଶ୍ଳିଷ୍ଟ ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ହିସାବ କର ଓ ଦେଖାଅ ଯେ ଏହା P ବୋର୍ ମାଗ୍ନେଟନ ।

୧୯ । ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତିକୁ $P=-e^2/4\pi\epsilon_0 r$ ନେଇ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁର ଦ୍ୱିବିମିତିକ ଅନୁରୂପ ଶ୍ରୁଡିଙ୍ଗର ସମୀକରଣକୁ r ଓ ϕରେ ଲେଖ ଓ ସମାଧାନ କର । ଦେଖାଅ ଯେ, ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧୀୟ ବଣ୍ଟନ ଫଳନର ସର୍ବାଧିକ ମୂଲ୍ୟ ବୋର୍ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧର ଏକ ଚତୁର୍ଥାଂଶଠାରେ ମିଳିବ ଓ ଏହି କ୍ଷେତ୍ରସ୍ଥିତ ପରମାଣୁର ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥା ଶକ୍ତି ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁର ସେହି ଶକ୍ତିର 4ଗୁଣ । [ଦେଖ : Zaslow and Zandler Am. J. Phys. 35 : 1118 (1967)]

୨୦ । ଯେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗୋଟିଏ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ଚାରିପଟେ ଗୋଟିଏ କକ୍ଷରେ ଘୁରେ, ଯେଉଁ ଅକ୍ଷ ପ୍ରଣାଳୀରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି କ୍ଷଣିକ ପାଇଁ ସ୍ଥିର ହୋଇଯାଏ, ତାହା ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ପାଇଁ ସ୍ଥିର ହୋଇ ରହିଥିବା ଅକ୍ଷ ପ୍ରଣାଳୀ ଚାରିପଟେ କୌଣିକ ଆବୃତ୍ତି w_Tରେ କେନ୍ଦ୍ରିବା ପରି ଦେଖାଯାଏ (ଏଠାରେ $\vec{w}_T = -\vec{v}\times\vec{a}/2c^2$) V ହେଲା ଗତିବେଗ, a ହେଲା ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ତୁଳନାରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ତ୍ୱରଣ) [ଏହାକୁ ଥମାସ୍ କେନ୍ଦ୍ରିବା (ଅନୁ. ୧୪.୭)] ଏହି ସମୀକରଣକୁ ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ କର ।

ସୂଚନା : ତିନୋଟି ନିର୍ଦ୍ଦେଶ ଫ୍ରେମ୍ ନିଅ । ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସରେ ସ୍ଥିର ଥିବା S; ଇଲେକ୍ଟ୍ରନରେ ସ୍ଥିର ଥିବା S', ଏହା Sର x ଅକ୍ଷରେ v ଗତିବେଗରେ ଗତି କରୁ; ଅନ୍ୟ ଫ୍ରେମଟି S'' ଗତିବେଗ adtରେ S'ର y ଅକ୍ଷରେ ଗତି କରୁ ।

ପଞ୍ଚଦଶ ଅଧ୍ୟାୟ

ପରମାଣୁ ଗଠନ

୧୪ ଅଧ୍ୟାୟରେ ଆମେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଥିବା ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ କଥା ବିଚାର କରିଥିଲୁ; ବର୍ତ୍ତମାନ ଦୁଇ ବା ତତୋଧିକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଥିବା ପରମାଣୁ (ଓ ଅଣୁ)ମାନଙ୍କ କଥା ବିଚାର କରିବା । ପରମାଣୁର ରୁଥରଫୋର୍ଡ-ବୋର୍ ମଡେଲ୍ ଭୌତିକ ବିଜ୍ଞାନରୁ ମୂଳ ପଦାର୍ଥ ନେଇ ଗଢ଼ି ଉଠିଥିଲା । ତେବେ, ମୂଳତଃ ପରମାଣୁ ରସାୟନ ବିଜ୍ଞାନର ସନ୍ତାନ । ପରମାଣୁ ଗଠନର ଶେଷ ତତ୍ତ୍ୱ ରସାୟନ ବିଜ୍ଞାନର ବିଷୟବସ୍ତୁଗୁଡ଼ିକ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଭାବେ ବୁଝାଇ ପାରିବା ଦରକାର, ଏଗୁଡ଼ିକ ମଧ୍ୟ ଭୌତିକ ବିଜ୍ଞାନର ବିଭିନ୍ନ ବିଷୟବସ୍ତୁ ପରି ସୁଦୃଢ଼ । ଏହି ଅଧ୍ୟାୟରେ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କର ପିରିଅଡ଼ିକ୍ ଟେବୁଲ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଆମେ ଆଲୋଚନା କରିବା; ପର ଅଧ୍ୟାୟମାନଙ୍କରେ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ୍‌ର ଆଲୋଚନାକୁ ଆମେ ଫେର ଆସିବା । ଏ ଦୁଇ ବିଷୟ ଅତି ଘନିଷ୍ଠ ଭାବରେ ସଂପୃକ୍ତ, କାରଣ ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଓ ଉଭୟଙ୍କର ତାତ୍ତ୍ୱିକ ଧାରଣାର ଭିତ୍ତିକାଠି ଯୋଗାଇବ ।

15·1 ପାଉଲି ଅପବର୍ଜନ ନିୟମ :

ଯଦି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ କୌଣସି ବିକର୍ଷଣ ନଥାନ୍ତା, ଜଟିଳ ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ତତ୍ତ୍ୱ ଅତି ସରଳ ହୋଇଥାନ୍ତା । ପ୍ରତ୍ୟେକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ କେବଳ ନିଉକ୍ଲିୟସର କ୍ଷେତ୍ରଦ୍ୱାରା ପ୍ରଭାବିତ ହୋଇଥାନ୍ତା, ହୁଏତ ସେତେବେଳେ ସେ ପରମାଣୁ ମଧ୍ୟରେ ଏକୁଟିଆ ଥିଲେ ଯେଉଁ ଅବସ୍ଥାରେ ଥାନ୍ତା, ସେହି ଅବସ୍ଥାରେ ଦେଖାଯାନ୍ତା । ତେବେ ପ୍ରକୃତ

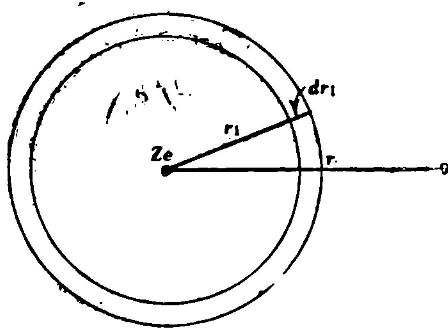
କ୍ଷେତ୍ରରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ବିକର୍ଷଣର ପ୍ରଭାବ ବହୁତ ବେଶୀ, ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଭାବରେ ଯେଉଁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ନିଉକ୍ଲିୟସଠାରୁ ବହୁତ ଦୂରରେ ସେମାନଙ୍କ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଏହା ବେଶୀ । ତଥାପି ପ୍ରଥମ ଆସନ୍ନ ଭାବରେ ଆମେ ଅନୁମାନ କରି ପାରିବା ଯେ, ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଉପରେ ଅନ୍ୟ ସମସ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଙ୍କର ପ୍ରଭାବ ହେଲା ନିଉକ୍ଲିୟସର Ze ଧନ ପରିମାଣକୁ ଫଳତଃ କମାଇ ଦେବା ! ଗୋଟିଏ ସୁଷମ ପରମାଣୁରେ ସମସ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଙ୍କୁ ନେଇ ମୋଟ ବିଯୁକ୍ତ ଋଣ ପରିମାଣ ହେଲା ନିଉକ୍ଲିୟସରେ ଥିବା ଯୁକ୍ତ ଧନ ପରିମାଣ ସହ ସମାନ; ଫଳରେ ପରମାଣୁଠାରୁ ବହୁ ଦୂରରେ ଗୋଟିଏ ବିନ୍ଦୁ ପାଇଁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ନିଉକ୍ଲିୟସକୁ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣଭାବରେ ଘୋଡ଼ାଇ ପକାନ୍ତି ଓ ମୋଟ କ୍ଷେତ୍ର ପରିମାଣ ଶୂନ୍ୟ ହୁଏ । ପରମାଣୁ ମଧ୍ୟରେ, ନିଉକ୍ଲିୟସର ନିକଟତର ହେବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଏହି ଘୋଡ଼ାଇ ହେବାର ଫଳାଫଳ କମି କମିଯାଏ, ଶେଷରେ ନିଉକ୍ଲିୟସ ନିକଟରେ ବଳ କ୍ଷେତ୍ରଟି ପ୍ରଧାନତଃ କେବଳ ନିଉକ୍ଲିୟସ ପାଇଁ ହୋଇଥାଏ । ତେବେ ସବୁଠାରୁ ଭିତରକୁ ଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନେ ମଧ୍ୟ ଅନ୍ୟମାନଙ୍କର ଉପସ୍ଥିତି ଫଳରେ ପ୍ରଭାବିତ ହୋଇଥାଏ, କାରଣ କୌଣସି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌କୁ ଅନନ୍ତକୁ ଘୁଞ୍ଚାଇବାରେ ଲୋଡ଼ା ହେଉଥିବା କାର୍ଯ୍ୟ ଅନ୍ୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ବିକର୍ଷଣ ଫଳରେ ବହୁ ପରିମାଣରେ କମି ଯାଇଥାଏ ।

ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ; ମନେକର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ଥିବା ମୋଟ ବିଯୁକ୍ତ ଋଣ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ଭାବରେ ଗୋଲକାକାର ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ଥାଇ ପ୍ରସାରିତ ହୋଇଅଛି, ଏହାର (ବିଯୁକ୍ତ) ସାନ୍ଦ୍ରତା ρ କେବଳ ନିଉକ୍ଲିୟସଠାରୁ ଦୂରତା rର ଫଳନ । ତେବେ ସ୍ଥିରବିଦ୍ୟୁତର ଏକ ଜଣାଶୁଣା ସିଦ୍ଧାନ୍ତ ଅନୁସାରେ, r_1 ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ, dr_1 ବେଧ (ଚିତ୍ର ୧୫.୧) ଓ ପରିମାଣ $4\pi\rho r_1^2 dr_1$ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ କୋଷର ଋଣ ଯେକୌଣସି ବାହ୍ୟ ବିନ୍ଦୁ r ଠାରେ $(\rho r_1^2 dr_1)/\epsilon_0 r$ ପରିମାଣର ଗୋଟିଏ ବିଭବ ଓ ଅନୁରୂପ ବିଦ୍ୟୁତ କ୍ଷେତ୍ର ସୃଷ୍ଟି କରିବ । କୋଷ ମଧ୍ୟରେ ଏହା କୌଣସି ବିଦ୍ୟୁତ ଭେକ୍ଟର ସୃଷ୍ଟି କରିବ ନାହିଁ, ମାତ୍ର ଗୋଟିଏ ସମ-ପରିମାଣ $(\rho r_1^2 dr_1)/r_1 \epsilon_0$ର ବିଭବ ଜନ୍ମାଇବ । ତେଣୁ ନିଉକ୍ଲିୟସଠାରୁ r ଦୂରତାରେ ମୋଟ ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ବିଭବ ହେବ,

$$\rho(r) = \frac{Ze}{4\pi\epsilon_0 r} + \frac{1}{r}\int_0^r \frac{\rho r_1^2 dr_1}{\epsilon_0} + \int_r^\infty \frac{\rho r_1 dr_1}{\epsilon_0} \quad (୧୫.୧)$$

ଏଠାରେ e ହେଲା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଚାର୍ଜ ପରିମାଣ; Ze ହେଲା ନିଉକ୍ଲିୟସରେ ଥିବା ଯୁକ୍ତ ଚାର୍ଜ ଓ ρ ସହିତ ଏହା

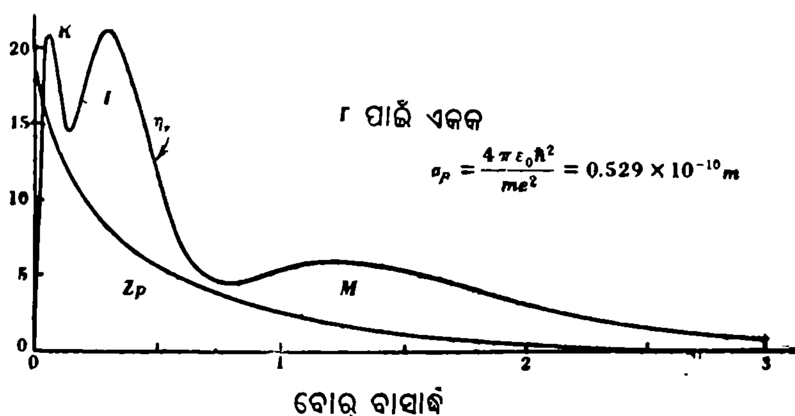
$$\int_0^\infty 4\pi \rho r_1^2 dr_1 = -Ze \text{ ସମୀକରଣ ଦ୍ୱାରା ସମ୍ପୃକ୍ତ ।}$$



[ଚିତ୍ର ୧୫.୧ ଗୋଟିଏ ନିଉକ୍ଲିୟସକୁ କେନ୍ଦ୍ର କରିଥିବା r_1 ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ଓ dr_1 ବେଧ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ କୋଷ]

ଏହି ପୂର୍ବୋକ୍ତ ଚିତ୍ର ପ୍ରଶ୍ନଟିର ସମାଧାନରେ ନିମ୍ନବର୍ଣ୍ଣିତ ସରଳକୃତ ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକ ପ୍ରଣାଳୀ ପ୍ରଯୁକ୍ତ ହୋଇଅଛି । ଏହି ପ୍ରଣାଳୀ ବହୁ ପରିମାଣରେ ସଫଳ ହୋଇଅଛି । ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ-ମାନଙ୍କର ମୋଟ ଚାର୍ଜ ବାଦଲ ପରି ଗୋଲକାକାରରେ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ହୋଇ ପ୍ରସାରିତ ହୋଇଥିବାର ଅନୁମାନ କରାଯାଇଥାଏ, ଠିକ୍ ଯେପରି ଅନୁ: ୧୪.୭ରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ପାଇଁ କରାଯାଇଥିଲା । ନିଉକ୍ଲିୟସ ଓ ଏହି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଚାର୍ଜ ପାଇଁ ସଂଯୁକ୍ତ କ୍ଷେତ୍ରର ବିଭବ $P(r)$ ସମୀକରଣ (୧୫.୧) ଦ୍ୱାରା ହିସାବ କରାଯାଏ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ଗୋଟିଏ ପୂର୍ଣ୍ଣମ ଅର୍ଗନ ପରମାଣୁ ପାଇଁ ଚାର୍ଜ ବାଦଲର ହିସାବ କରାଯାଇଥିବା ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧୀୟ ସାନ୍ଦ୍ରତା η, ଚିତ୍ର ୧୫.୨ରେ ଅଙ୍କନ କରାଯାଇଅଛି; P ମଧ୍ୟ ଚିତ୍ରରେ ଭୁଷାଇ ଦିଆଯାଇଥିବା ଗାରରେ ଅଙ୍କନ କରାଯାଇଅଛି ।

ଏହି କ୍ଷେତ୍ର ଯେପରି ନ ଆସନ୍ତା, କ୍ୟାଥୋଡ଼ ରଶ୍ମିରୁ ମିଳୁଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପରି ବାହାରୁ ଆସୁଥିବା କୌଣସି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପରମାଣୁ ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଗତି କଲେ, ତା'ର ବିକ୍ଷେପଣ ଏପରି କ୍ଷେତ୍ର ଦ୍ୱାରା ହିସାବ କରି ହେବ । କିନ୍ତୁ ଅଭ୍ୟନ୍ତରସ୍ଥ ଗୋଟିଏ



[ଚିତ୍ର ୧୫·୨ ଆର୍ଗନର ହାର୍ଟ୍ରି କ୍ଷେତ୍ର ଓ ଚାର୍ଜ-ବାଦଲ ସାନ୍ଦ୍ରତା । ଗୋଟିଏ ଆର୍ଗନ ପରମାଣୁର ଅଭ୍ୟନ୍ତରସ୍ଥ ଗୋଟିଏ ଅଧିକା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି $-eZ_p/4\pi\epsilon_0 r$ ହେବ, ଏଠାରେ Z_p ତଳ ରେଖାରେ ଦେଖାଯାଇଅଛି । K, L, M ଯଥାକ୍ରମେ $n = 1, 2, 3$ କକ୍ଷର ମୋଟାମୋଟି ଅବସ୍ଥାନ ସୂଚାଉଛି]

ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ବିକର୍ଷିତ ହେବ, ତା ନିଜ ଦ୍ୱାରା ବିକର୍ଷିତ ହେବନାହିଁ । ଏଥିପାଇଁ ସଂଶୋଧନ କରିବା ଉଦ୍ଦେଶ୍ୟରେ ଯେଉଁ ଅଭ୍ୟନ୍ତର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ର କଥା ବିଚାର କରାଯାଉଛି, ତାପାଇଁ ହେଉଥିବା ଚାର୍ଜ ବାଦଲର ଅଂଶ ବାଦ ଦେଇଦେବା ।

ଆଲୋଡ଼ନ ତତ୍ତ୍ୱରେ ପ୍ରାରମ୍ଭରୁ ପ୍ରଥମ ଆସନ୍ନ ହିସାବ ପାଇଁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ପରସ୍ପରକୁ ବିକର୍ଷଣ କରିବାର ହାରାହାରି ପ୍ରଭାବକୁ କ୍ଷେତ୍ର ମଧ୍ୟରେ ଗ୍ରହଣ କରିନେବା ଓ ସେମାନେ ପରସ୍ପରକୁ ବିକର୍ଷଣ ନକରି ଏହି ପରିବର୍ତ୍ତିତ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଗତି କରୁଛନ୍ତି ବୋଲି

ଅନୁମାନ କରିନେବା । ଏହି କ୍ଷେତ୍ରଟି ଗୋଲକାକାରରେ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟୀ ହୋଇଥିବାରୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ତରଙ୍ଗ ଫଳନଗୁଡ଼ିକ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁ ନିଆଯାଉଥିବା ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ପରି ସରଳ ହେବ । ପୂର୍ବତନ ଗାନ୍ତିକୀରେ, ଭେକ୍ଟର କୌଣିକ ସଂବେଗ ଧ୍ରୁବ ରହିଥିଲା । ଅନୁରୂପ ଭାବରେ, ଗୋଟିଏ ଏକ-ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପରମାଣୁରେ ଯେଉଁ କୌଣିକ ସଂବେଗ ଗୁଣମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ପରିଚିତ, ସେହି କୌଣିକ ସଂବେଗ ଗୁଣମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ତରଙ୍ଗଗାନ୍ତିକୀରେ ମଧ୍ୟ ପରିଚିତ; କାର୍ଯ୍ୟତଃ ତରଙ୍ଗ ଫଳନଗୁଡ଼ିକରେ ଯେଉଁ ଗାଣିତିକ ଫଳନ θ ଓ ϕ ଆଅନ୍ତି, ସମୀକରଣ (୧୪.୧୧)ରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ ମଧ୍ୟ ସେହି ଗାଣିତିକ ଫଳନ ନିଆଯାଇଥାଏ; କେବଳ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧୀୟ ଗୁଣିତ R_{nl} ଟି ଭିନ୍ନ ହୋଇଥାଏ । ତେବେ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧୀୟ ଗୁଣକଟି ତଥାପି n ଦ୍ୱାରା ସୂଚିତ ଗୋଟିଏ ସଂଖ୍ୟାଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୁଏ ଏବଂ କୁଲମ୍ବ କ୍ଷେତ୍ରରେ ହେବା ପରି ଏଥିରେ $n-l$ ସଂଖ୍ୟକ ଶୀର୍ଷତମ ଅବସ୍ଥା ମିଳେ ଓ $n-l>1$ ହୋଇଥିଲେ, ଏଗୁଡ଼ିକ ଶୂନ୍ୟ-ମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ପରସ୍ପରଠାରୁ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଥାନ୍ତି । ତେଣୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ଚାରୋଟି କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା n, l, m_l ଓ m_s ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇପାରିବେ; ଏଠାରେ

୧ । n ହେଲା ପ୍ରଧାନ (ବା ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧୀୟ) କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା; ଏହା ଯୁକ୍ତ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ହୋଇଥାଏ, ଯଥା—1, 2, 3, 4 ପ୍ରଭୃତି ।

୨ । l ହେଲା କକ୍ଷୀୟ (ବା azimuthal) କ୍ୱାଣ୍ଟମସଂଖ୍ୟା; ଏହା 0, 1, 2···, $n-1$ ମୂଲ୍ୟ ନେଇପାରେ । ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର କକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗର ପରିମାଣ $A_l=\sqrt{l(l+1)}\hbar$ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇ ପାରିବ ।

୩ । m_l ହେଲା ଚୁମ୍ବକୀୟ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା; ଏହାର ମୂଲ୍ୟ ଯୁକ୍ତ ଓ ବିଯୁକ୍ତ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ହୋଇପାରେ, ଯଥା : $l, l-1, \cdots \cdots 0 \cdots\cdots l$ କକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗର z ସଂଯୋଜକ $(\vec{A}_l)_z = m_l\hbar$ ହେବ ।

୪ । m_s ହେଲା ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା; ଏହାର ମୂଲ୍ୟ $+\frac{1}{2}$ ବା $-\frac{1}{2}$ । ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କୌଣିକ ସଂବେଗର z ସଂଯୋଜକ ହେଲା, $m_s\hbar$ ।

ସମସ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଙ୍କୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକୁ ବାଣ୍ଟିଦେଲେ ଶୂନ୍ୟକୋଟୀର ଆଲୋଡ଼ନ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ଗୋଟିଏ ପୂର୍ବ ପରମାଣୁ ପାଇଁ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥା

ସୂଚାଇବ । ତେବେ ଏହି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକୁ ବାଣ୍ଟିବା ସମୟରେ ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଗଢ଼ିଉଠିବା ପୂର୍ବରୁ 1925 ମସିହାରେ ଉଲ୍ଫ୍ ପାଉଲ୍ ଦେଇଥିବା ଗୋଟିଏ ପ୍ରଧାନ ନିୟମ ବ୍ୟବହାର କରିବାକୁ ହେବ । ପାଉଲ୍‌ଙ୍କ ଅପବର୍ଜନ ନିୟମ ତା'ର ପ୍ରଥମ ଆକାରରେ ହେଲା;

ଗୋଟିଏ ଏକ ପରମାଣୁରେ ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଏକା କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାରେ ରହି ପାରିବେ ନାହିଁ । ଯେହେତୁ ଯେକୌଣସି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥା n, l, m_l ଓ m_s (ବା n, l, j ଓ m_j) କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇ ପାରିବ, ଆମେ କହି ପାରିବା ଯେ,

କୌଣସି ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁର କୌଣସି ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଚତୁର୍ବୋଟିଯାକ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା ଏକା ହୋଇ ନପାରନ୍ତି ।

ପରମାଣୁର ଗଠନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଆଲୋଚନା କରିବାପାଇଁ ସୀମିତ ଆକାରରେ ପ୍ରକାଶିତ ଉକ୍ତ ଅପବର୍ଜନ ନିୟମ ବ୍ୟବହାର କଲେ ସୁବିଧା ହେବ । ତେବେ, ପାଉଲ୍ ନିୟମକୁ ବହୁ ବ୍ୟାପକ ଆକାରରେ ପ୍ରକାଶ କରିବା ସମ୍ଭବ । କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଯାନ୍ତ୍ରିକରେ ଏକା ପରି କ୍ୱାଣ୍ଟମ କଣିକାଗୁଡ଼ିକ (ଯଥା : ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ)ର ତରଙ୍ଗ ଫଳନଗୁଡ଼ିକ ଉପର ଉପର ହୋଇ ପଡ଼ିଗଲେ, ସେମାନଙ୍କୁ ପରସ୍ପରଠାରୁ ବାରି ହେବନାହିଁ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ଗୋଟିଏ ହିଲିୟମ ପରମାଣୁ ମଧ୍ୟରେ "ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ୧ଟି ଏଠାରେ ଓ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ୨ଟି ସେଠାରେ" ଏପରି କହି ହେବନାହିଁ । ମଣ୍ଡଳଟି ପାଇଁ ଦିଆଯାଇଥିବା ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଏଠାରେ ଓ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସେଠାରେ ଥିବାର ସମ୍ଭାବନା ପ୍ରକାଶ କରିବ; ମାତ୍ର କେଉଁଟି କେଉଁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ତାହା ଜଣା ପଡ଼ିବନାହିଁ । ଏହି ତରଙ୍ଗ ଫଳନ x_1 ଓ x_2 ପରି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ବ୍ୟାପକ ସ୍ଥାନାଙ୍କମାନଙ୍କ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିବ; ଏଠାରେ x_1 ମଧ୍ୟରେ x, y, z ଓ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସ୍ଥାନାଙ୍କଗୁଡ଼ିକ ଅନ୍ତର୍ଗତ । ଦୁଇ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଙ୍କୁ ପରସ୍ପର ମଧ୍ୟରେ ବଦଳାଇଦେଲେ ସମ୍ଭାବ୍ୟ ବଣ୍ଟନ ବଦଳିଲ ନାହିଁ ବୋଲି, ଆମେ ପାଇବା

$$|\psi(x_1, x_2)|^2 = |\psi(x_2, x_1)|^2$$

ଏଥିରୁ ଆମେ ପାଇବା

$$\psi (x_1, x_j) = \pm \psi (x_j, x_1)$$

ଏହା ଗୋଟିଏ ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ବିଷୟ ଯେ, ଘୂର୍ଣ୍ଣନ – ½ ବିଶିଷ୍ଟ ସମସ୍ତ କଣିକାଙ୍କ ପାଇଁ (ଯଥା; ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ, ପ୍ରୋଟନ, ନିଉଟ୍ରନ ମିଉଅନ ପ୍ରଭୃତି) ନିମ୍ନସ୍ଥ ବିଯୁକ୍ତ ଚିହ୍ନ ନେବାକୁ ହେବ ଏବଂ ଶୂନ୍ୟ ବା ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ହୋଇଥିବା ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ବିଶିଷ୍ଟ ସମସ୍ତ କଣିକାଙ୍କ ପାଇଁ ଯୁକ୍ତଚିହ୍ନ ନିଶ୍ଚୟ ନେବାକୁ ପଡ଼ିବ । ପାଉଲି ଅପବର୍ଜନ ନିୟମ ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଭାଷାରେ ନିମ୍ନପ୍ରକାରରେ ପ୍ରକାଶ କରିଯାଇପାରିବ ।

ଦୁଇ ବା ତତୋଧିକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଥିବା ଗୋଟିଏ ମଣ୍ଡଳର ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ବ୍ୟାପକ ସ୍ଥାନାଙ୍କରେ ଅସାମଞ୍ଜସୀ ହେବ; ଅର୍ଥାତ୍ ଯଦି ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପରସ୍ପରର ସ୍ଥାନ ପରିବର୍ତ୍ତନ କରନ୍ତି, ତେବେ ତରଙ୍ଗ ଫଳନର ଚିହ୍ନ ବଦଳିଯିବ ।

ଜଟିଳ ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଆଲୋଚନା ଏହି ପୁସ୍ତକର ପରିସର ବାହାରେ; କିନ୍ତୁ ପରିଶିଷ୍ଟ ୧୫କରେ ସେହି ବିଷୟର କେତେକ ପ୍ରଧାନ ପ୍ରଧାନ କଥା ବର୍ଣ୍ଣାଯିବ ଏବଂ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ବ୍ୟବହାର କରିବାର ଏକ ପ୍ରଣାଳୀ ଦେଖାଇ ଦିଆଯିବ ।

15·2 କୋଷ ଓ ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷ :

ଗୋଟିଏ ସୁଷମ ପରମାଣୁ ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ଥିଲେ Z ସଂଖ୍ୟକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ମିଳୁଥିବା Z ନିମ୍ନତମ ଶକ୍ତି ସ୍ତରରେ ରହିବେ । ପରିବର୍ତ୍ତିତ କେନ୍ଦ୍ରୀୟ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଶକ୍ତି କୁଲମ୍ବ କ୍ଷେତ୍ରରେ ହେଲପରି ପ୍ରଧାନତଃ n ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିଥାଏ; କିନ୍ତୁ ଏହି ଅଧିକ ବ୍ୟାପକ ଘଟଣାରେ ଏହା l ସହିତ କେତେକ ପରିମାଣରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇଥାଏ (ଅଳ୍ପ ବିଯୁକ୍ତ ହୁଏ) l ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଏହା ବଢ଼େ । କକ୍ଷମାନଙ୍କ ପରସ୍ପରକୁ ଭେଦ କରିବା ଫଳରେ (ଅନୁ: ୧୫·୬) ଏହା ହୋଇଥାଏ । ବର୍ତ୍ତମାନ ପାଇଁ (n, l) ଶକ୍ତିସ୍ତରମାନଙ୍କର ସୂକ୍ଷ୍ମଗଠନ ଲାଗି ଖାଁଯିବା ଆମେ ଉପେକ୍ଷା

କରିବା; ଏହାପରେ ଆସନ୍ନ ହିସାବ ନେଲେ ଶକ୍ତି m_l ବା m_s ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିନାହିଁ ।

ସାଧାରଣତଃ ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁରେ ଥିବା ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା nର ମୂଲ୍ୟ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରି ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ଦଳରେ ବିଭକ୍ତ ହୋଇଥାଆନ୍ତି । ଯେଉଁ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକର ଏକା n, ସେଗୁଡ଼ିକ ଏକା କୋଷର ବୋଲି ଧରାଯାଏ । ପ୍ରତି କୋଷ lର ମୂଲ୍ୟ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରି ବିଭିନ୍ନ ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷରେ ବିଭକ୍ତ ହୋଇଥାଏ । କୌଣସି ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷ $2(2l+1)$ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଧାରଣ କରିପାରେ; ଏହାଠାରୁ ଅଧିକ ସଂଖ୍ୟକ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଧାରଣ କରିପାରିବ ନାହିଁ; କାରଣ m_lର ମୂଲ୍ୟ lଠାରୁ କମି କମି ଶୂନ୍ୟ ଦେଇ $-l$ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ହୋଇପାରେ, m_sଟି $\frac{1}{2}$ ବା $-\frac{1}{2}$ ହୋଇପାରେ । ବିଭିନ୍ନ ପ୍ରକାରର ମୂଳ (ବା ପୂର୍ଣ୍ଣ) ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷମାନଙ୍କରେ ଥିବା ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ଓ ସେମାନଙ୍କର ସଙ୍କେତ ହେଲା ;

l	0	1	2	3	4	5	6	7
ସଙ୍କେତ	s	p	d	f	g	h	i	k
ସଂଖ୍ୟା	2	6	10	14	18	22	26	30

ତେଣୁ ଟଙ୍ଗଷ୍ଟେନରେ ପୂର୍ଣ୍ଣ $4d$ ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷ ($n=4, l=2$) 10ଟି ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଧାରଣ କରିପାରେ । ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁର ଗୋଟିଏ ପୂର୍ଣ୍ଣ କୋଷରେ ଥିବା ସର୍ବାଧିକ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ସଂଖ୍ୟା $2n^2$ । ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁର ଶୂନ୍ୟକୋଟୀ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାକୁ ସୂଚାଇବା ପାଇଁ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା n, l, m_l, m_sକୁ ନେଇ ଓ କୌଣସି ଦୁଇଟି ସେଟ୍‌ରେ ଚାରୋଟି ସଂଖ୍ୟା ଏକା ନହେବା ପରି ବ୍ୟବସ୍ଥା କରି ଉପଯୁକ୍ତ ସଂଖ୍ୟକ ସେଟ୍ ସ୍ଥିର କରି ଯଥେଷ୍ଟ ହେବ । ଏହାଦ୍ୱାରା ଯେପରି ପରମାଣୁସ୍ଥ ସବୁ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ସ୍ଥାନ ପାଇଯିବେ । ପରମାଣୁର ସାଧାରଣ ବା ନ୍ୟୂନତମ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଅବସ୍ଥା ଦର୍ଶାଇବାପାଇଁ, ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକୁ ଯଥା-ସମ୍ଭବ ନ୍ୟୂନତମ ଶକ୍ତିସ୍ତରମାନଙ୍କରେ ରଖିବାକୁ ହେବ । ପ୍ରଥମ ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ $1s$ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକୁ ଯିବେ । ଏଗୁଡ଼ିକରେ $n=1, l=0, m_l=0$ ଓ $m_s=\pm\frac{1}{2}$ ।

$n=1$ରେ ଅନ୍ୟ କୌଣସି ଅବସ୍ଥା ସମ୍ଭବ ନହେଉଥିବାରୁ, ଏହାର ପର ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ $2s$ ଅବସ୍ଥାକୁ ଯିବେ । ଏଥିରେ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ବହୁତ ଅଧିକ ଏବଂ ଏହାର ପର 6ଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ $2P$ ଅବସ୍ଥାକୁ ଯିବେ । ଏଠାରେ ଶକ୍ତି ଆହୁରି ଅଧିକ । ଏହାର ପର ଦୁଇଟି ଅଧିକ ଶକ୍ତିଶାଳୀ $3s$ ଅବସ୍ଥାକୁ ଯିବେ ଓ ଏହିପରି ଘଟି ଯାଉଥିବ । ଗୋଟିଏ ନିଉକ୍ଲିୟସକୁ ବନ୍ଧା ହୋଇ ରହିଥିବା ସମସ୍ତ ଇଲେକଟ୍ରନଙ୍କ ପାଇଁ n ଓ l ସ୍ଥିର କରିଦେବାକୁ ପରମାଣୁ (ବା ଆୟନ)ର ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋନୀୟ ବିନ୍ୟାସ କୁହାଯାଏ ।

କୌଣସି ପୂର୍ଣ୍ଣ କୋଷ ବା ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷରେ ଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନେ ପରମାଣୁର ମୋଟ କକ୍ଷୀୟ ବା ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କୌଣିକ ସଂବେଗକୁ ମୋଟରେ ଶୂନ୍ୟ ପରିମାଣର କୌଣିକ ସଂବେଗ ଦେଇଥାନ୍ତି । ଏହିପରି ଗୋଟିଏ ପୂର୍ଣ୍ଣ ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନରେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କୌଣିକ ସଂବେଗର z ସଂଯୋଜକ $\frac{1}{2}\hbar$ $(m_s=+\frac{1}{2})$, ହେଲେ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କୌଣିକ ସଂବେଗର z ସଂଯୋଜକ $-\frac{1}{2}\hbar$ $(m_s=-\frac{1}{2})$ ହେବ । ତେଣୁ ଗୋଟିଏ ପୂର୍ଣ୍ଣ ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷର ପରିଣାମୀ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କୌଣିକ ସଂବେଗ ଶୂନ୍ୟ ହେବ । ସେହିପରି ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ କକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗର z ସଂଯୋଜକ $m_l\hbar$ ହେଲେ, ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ପାଇଁ କକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗର z ସଂଯୋଜକ $-m_l\hbar$ ହେବ । ଗୋଟିଏ ପୂର୍ଣ୍ଣ ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷରେ ପରିଣାମୀ ଋଣ ବଣ୍ଟନ ମଧ୍ୟ ଗୋଲକାକାରରେ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ । ଏହି ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରି ତରଙ୍ଗଫଳନ ଗୁଡ଼ିକୁ ବହୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବିଶିଷ୍ଟ ପରମାଣୁ ପାଇଁ ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ପ୍ରଥମ ଆସନ୍ନ ଭାବରେ ଗୃହୀତ ହୋଇ ପାରିଥାଏ । କକ୍ଷୀୟ ବା ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କୌଣିକ ସଂବେଗର କୌଣସି ପରିମାଣ ଓ ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁରେ ଋଣ ବଣ୍ଟନରେ କୌଣସି ଅସାମଞ୍ଜସ୍ୟତା ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷଗୁଡ଼ିକୁ ଆଂଶିକ ଭାବରେ ପୂର୍ଣ୍ଣ କରୁଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ଲାଗି ଘଟିଥାଏ । ବହୁ-ଇଲେକଟ୍ରନ୍ ପରମାଣୁମାନଙ୍କରେ ଅଧିକାଂଶ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପୂର୍ଣ୍ଣ ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷମାନଙ୍କରେ ରହିଥାନ୍ତି ।

କୋଷଗୁଡ଼ିକୁ ଇଂରାଜୀ ବଡ଼ ଅକ୍ଷରଦ୍ୱାରା ନାମିତ କରାଯାଇଥାଏ । ଏହି ନାମ ଏକ୍ସରେ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଆଲୋଚନା କରାଯିବାର ପ୍ରଥମ ଅବସ୍ଥାରୁ ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇ ଆସୁଅଛି । ଏହା ତଳେ ଓ ଆଂଶିକ ଭାବରେ ଟେବୁଲ ୧୫.୧ରେ ଦର୍ଶାଯାଇଅଛି ।

ଟେବୁଲ୍ ୧୫·୧ରେ ପ୍ରଥମ ସାତୋଟି କୋଷ ପାଇଁ ସଂଖ୍ୟା ଓ ସଙ୍କେତସବୁ ସଂକ୍ଷେପରେ ଦିଆଯାଇଅଛି ।

n	1	2	3	4	5	6	7
ଏକ୍ସରେ ଦ୍ୱାରା ବ୍ୟବହୃତ ନାମ	K	L	M	N	O	P	Q

ଟେବୁଲ୍ ୧୫·୧ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ କୋଷ ଓ ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷ

କୋଷ	K	L		M		
n	1	2		3		
ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷ L	0	0	1	0	1	2
ଅକ୍ଷରରେ ନାମ	s	s	p	s	p	d
କୋଷ ବା ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷରେ	2	2	6	2	6	10
ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସଂଖ୍ୟା	2	8		18		

15·3 ପିରିଅଡ଼ିକ ଟେବୁଲ୍ :

ମସ୍ଲେ ଓ ଅନ୍ୟମାନେ ଏକ୍ସରେରେ ଗବେଷଣା କରି ପାରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ଧାରଣାକୁ ଦୃଢ଼ ଭିତ୍ତିରେ ପ୍ରତିଷ୍ଠା କରିଥିଲେ । ପ୍ରତ୍ୟେକ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥକୁ ଗୋଟିଏ ପାରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା Z ସହିତ ନିଃସଂକୋଚରେ ସଂଶ୍ଳିଷ୍ଟ କରିହେବ । ଯେଣୁ ପିରିଅଡ଼ିକ୍ ଟେବୁଲ୍ଟି ପ୍ରଧାନତଃ ରାସାୟନିକ ଗୁଣସବୁ ବୁଝିବାପାଇଁ ରସାୟନବିତ୍ମାନେ ତିଆରି କରିଥିଲେ ମଧ୍ୟ ସେଥିରେ ଆଉ କୌଣସି ଅନ୍ୟ ଶୂନ୍ୟସ୍ଥାନ ନାହିଁ ବୋଲି ସଠିକ ଭାବରେ ଜଣାଗଲା । Zର ମୂଲ୍ୟ ନିଉକ୍ଲିଅସରେ ଧନ ପରିମାଣ ବୁଝାଉଛି;

ଯେତେବେଳେ ପରମାଣୁଟି ସ୍ଥାୟୀ ଅବସ୍ଥାରେ ଅଛି, ସେତେବେଳେ ଏହା ନିୟୁକ୍ଲିୟସ ବାହାରେ ଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ସଂଖ୍ୟା ମଧ୍ୟ ବୁଝାଉଛି । ନିୟୁକ୍ଲିୟସର ବାହାରେ ଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ସଂଖ୍ୟା ଉପରେ ପଦାର୍ଥଟିର ରାସାୟନିକ ଗୁଣ ନିର୍ଭର କରେ । ପରମାଣୁରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସଜ୍ଜା ବିଷୟରେ ନେଇ ଏବଂ ସେପରି ହେବା ଫଳରେ କିପରି ରାସାୟନିକ ଓ ଭୌତିକ ଗୁଣ ମିଳିବା ସମ୍ଭବ ବିଷୟର କରି ପିରିଅଡ଼ିକ୍ ଟେବୁଲ ସମ୍ବନ୍ଧରେ କେତେକ ପରିମାଣରେ ଧାରଣା କରି ହେବ ।

ଏ ପୁସ୍ତକର କଭରର ଭିତର ପଟରେ ଦିଆଥିବା ପିରିଅଡ଼ିକ୍ ଟେବୁଲ୍ ଯେପରି ସଜ୍ଜା ଯାଇଛି, ସେପରି ସଜାଇଲେ ପ୍ରଧାନ ପ୍ରଧାନ ଗୁଣଗୁଡ଼ିକ ସହଜରେ ମୋଟାମୋଟି ଭାବରେ ଧାରଣା କରି ହେବ । ଗୋଟିଏ ପ୍ରଧାନ ଘଟଣା ହେଲା, ନୋବଲ ବା "ନିଷ୍କ୍ରିୟ"ଗ୍ୟାସର ବାରମ୍ବାର ଉପସ୍ଥିତି; ଏହି ଗ୍ୟାସଗୁଡ଼ିକ ପାଖରେ ଟେବୁଲ୍‌ଟି ବାରମ୍ବାର ଘୂରିଯାଏ । ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥଗୁଡ଼ିକ ଆଉ ଆଗେଇ ପାରନ୍ତିନାହିଁ । ରିଡ଼ବର୍ଗ ଦେଖାଇଲେ ଯେ, ନୋବଲ୍ ଗ୍ୟାସ ପାଇଁ Zର ମୂଲ୍ୟ ଗୋଟିଏ ସରଳ ଗାଣିତିକ ଉକ୍ତିରେ ଦିଆ-ଯାଇପାରିବ ।

$$Z=2\,(1^2+2^2+2^2+3^2+3^2+4^2+\cdots)$$

ଅର୍ଥାତ୍; ହିଲିୟମ, $2\times1^2=2$; ନିୟନ, 10; ଆର୍ଗନ, 18; କ୍ରିପ୍ଟନ 36 ଓ ଜେନନ୍ 54 ।

ରାସାୟନିକ ପ୍ରତିକ୍ରିୟାରେ ଏହି ନୋବଲ୍ ଗ୍ୟାସରେ ପରମାଣୁମାନେ ସହଜରେ ଅନ୍ୟ ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ସହ ମିଶନ୍ତି ନାହିଁ । ଅନ୍ୟ ପକ୍ଷରେ, ଟେବୁଲ ରେ ଏହି ନୋବଲ ଗ୍ୟାସର ଦୁଇ ପାଖରେ ଥିବା ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କର ପରମାଣୁମାନେ ରାସାୟନିକ ଭାବରେ ଅତି ବେଶୀ ସକ୍ରିୟ ଓ ସେମାନଙ୍କର ବହୁଯୋଜକ ଗୁଣ ହୋଇଥାଏ । ଲିଥିୟମ୍, ବେରିଲିୟମ, ପଟାସିୟମ ଓ କାଲ୍‌ସିୟମ ପ୍ରଭୃତି ଯେଉଁଗୁଡ଼ିକ ନୋବଲ୍ ଗ୍ୟାସର ପରେ ଅଛନ୍ତି, ସେଗୁଡ଼ିକ ଧାତୁ ଓ ଅତିବେଶୀ ବିଦ୍ୟୁତ ଯୁକ୍ତାତ୍ମକ, ସେମାନେ ସହଜରେ ଯୁକ୍ତ-ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଆୟନ ସୃଷ୍ଟି କରିଥାନ୍ତି । ଆଉ ମଧ୍ୟ ରାସାୟନିକ ଯୌଗିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କରେ ସେମାନଙ୍କର ସର୍ବାଧିକ ସଂଯୋଜକତା ସେମାନେ ନୋବଲ୍ ଗ୍ୟାସ ପରେ କେତେ ପାଦ

ଆଗେଇ ଯାଇଛନ୍ତି, ତାହା ସହିତ ସମାନ ହୁଏ ଅର୍ଥାତ୍, ସୋଡ଼ିୟମ ପାଇଁ, ମାଗ୍ନେସିୟମ ପାଇଁ 2, ଆଲୁମିନିୟମ ପାଇଁ 3; ସୋଡ଼ିୟମ ଦ୍ରବଣରେ ଏକ-ସଂଯୋଜକତା ବିଶିଷ୍ଟ ଆୟନ କରେ; ମାଗ୍ନେସିୟମ ଦ୍ୱି-ସଂଯୋଜକତା ବିଶିଷ୍ଟ ଆୟନ କରେ; ଅଲୁମିନିୟମ୍ ତ୍ରି-ସଂଯୋଜକତା ବିଶିଷ୍ଟ ଆୟନ କରେ । ବିପରୀତ ପକ୍ଷରେ, ନୋବଲ୍ ଗ୍ୟାସର ଠିକ୍ ପୂର୍ବରୁ ଥିବା ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନେ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ସ୍ୱଭାବରେ ଅପଣକାଙ୍କ୍ଷୀ, ବୋଧହୁଏ ଏପରିକି ଗ୍ୟାସ ଅବସ୍ଥାରେ ଆନ୍ତି ଓ ଅତିବେଶୀ ବିଦ୍ୟୁତବିଯୁକ୍ତାତ୍ମକ; ସେମାନେ ଏକୁଟିଆ ବା ଅନ୍ୟ ପରମାଣୁ ସଙ୍ଗେ ମିଶି ବିଯୁକ୍ତ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଆୟନ କରନ୍ତି ଏବଂ ସେମାନେ ଟେବୁଲ୍‌ରେ ନୋବଲ ଗ୍ୟାସର ଯେତେ ପାଦ ପଛକୁ ରହିଥାନ୍ତି, ସେମାନଙ୍କର ରାସାୟନିକ ସଂଯୋଜକତା ସେତିକି ହୋଇଥାଏ । ଏହି ଦୁଇଶ୍ରେଣୀ ମଧ୍ୟରୁ କୌଣସି ଗୋଟିଏ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ ସମଶ୍ରେଣୀର ଅନ୍ୟ କୌଣସି ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ ସହ କ୍ୱଚିତ ମିଳିଥାଏ; କିନ୍ତୁ ଟେବୁଲ୍‌ରେ ନୋବଲ୍ ଗ୍ୟାସର ଏକ ପକ୍ଷରେ ଥିବା ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ ନୋବଲ ଗ୍ୟାସର ଅନ୍ୟ ପକ୍ଷରେ ଥିବା ଯେକୌଣସି ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ ସହ ଅନାୟାସରେ ମିଳିତ ହୋଇଥାଏ ।

ଏହି ଘଟଣାରୁ ଆମେ ସ୍ୱଭାବତଃ ଉପନୀତ ହେଉଥାଇଁ ଯେ, ଏହି ନୋବଲ୍ ଗ୍ୟାସମାନଙ୍କର ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସଜ୍ଜାରେ କୌଣସି ବିଶେଷତ୍ୱ ରହିଅଛି । ଯଦି ଆମେ ଗୋଟିଏ ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ଅନୁମାନ ଗ୍ରହଣ କରିବା ଯେ, ରାସାୟନିକ ସକ୍ରିୟତା କୌଣସି-ମତେ ପରମାଣୁର ବାହ୍ୟ ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ର ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ, ତେବେ ଆମେ ସିଦ୍ଧାନ୍ତରେ ପହଞ୍ଚିବା ଯେ, ନୋବଲ ଗ୍ୟାସର ପରମାଣୁ ସବୁକୁ ଅତ୍ୟନ୍ତ ଦୁର୍ବଳ ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ର ଘେରି ରହିଅଛି । ଯଦି ଏହା ଘଟିଥାଏ, ତେବେ ଏହି ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ମିଳିତ ହୋଇ ଅଣୁ ଗଠିତ ହେବାର ଚେଷ୍ଟା ଅତି ଅଳ୍ପ ହୋଇଥିବ; ଏହି ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ଏକତ୍ରିତ ହୋଇ ତରଳ ବା କଠିନବସ୍ତୁ ଆକାର ନେବାର ଚେଷ୍ଟା ମଧ୍ୟ ଅତ୍ୟନ୍ତ କମ୍ ହେବ; ପ୍ରକୃତରେ ନୋବଲ୍ ଗ୍ୟାସ ଅଣୁଗୁଡ଼ିକ ଏକ ପରମାଣୁ ବିଶିଷ୍ଟ ଓ ଏମାନଙ୍କର ତରଳାଙ୍କ ଓ କଠିନାଙ୍କ ମଧ୍ୟ ଅତି କମ୍ ।

ନୋବଲ୍ ଗ୍ୟାସର ପାଖାପାଖି ଥିବା ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କର ଗୁଣଗୁଡ଼ିକ ବୁଝିବା ପାଇଁ ଆମେ ଅନୁମାନ କରିବା ଯେ, ନୋବଲ୍ ଗ୍ୟାସର ପରମାଣୁର ବାହ୍ୟ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଗୁଡ଼ିକର ସଜ୍ଜା ବିଶେଷ ଭବେ ସ୍ଥାୟୀ ଅର୍ଥାତ୍ ବିଶେଷଭାବେ ସ୍ୱଳ୍ପ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଏ ସଜ୍ଜା ।

ଟେବୁଲ୍‌ରେ ଗୋଟିଏ ନୋବଲ୍ ଗ୍ୟାସର ପର ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥର ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁ ସେହି ନୋବଲ୍‌ଗ୍ୟାସର ଅଭ୍ୟନ୍ତର ଅପେକ୍ଷା ଗୋଟିଏ ବା ଦୁଇଟି ଅଧିକ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଧାରଣ କରିଥିବ, ଯେପରିକି ନିୟୁନ ଅଭ୍ୟନ୍ତର ବାହାରେ ସୋଡିୟମ୍‌ର ଗୋଟିଏ ଓ ମାଗ୍ନିସିୟମର ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ରହିଅଛି । ଏହି ଅଧିକା ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଅପେକ୍ଷାକୃତ ସହଜରେ ଅଲଗା କରି ହେବ । ଏହି ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ଯୁକ୍ତ ଆୟନ ଗଠନ କରିବାର ପ୍ରବୃତ୍ତି ଏହିପରି ବୁଝାଯାଇ ପାରିବ । ଆହୁ ମଧ୍ୟ, କଠିନ ବସ୍ତୁରେ ପାଖ ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ଆକର୍ଷଣ ଫଳରେ ଏହି ଅଧିକା ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ସହଜରେ ଢ଼ିଗୁଳି ଖସି ଯାଇ ପାରେ । ତେଣୁ ଏଗୁଡ଼ିକ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ପରି କାମ କରିବେ, ତେଣୁ ବର୍ଗରେ ଥିବା ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥଟି ବିଦ୍ୟୁତର ସୁପରିବାହୀ ହେବ । ପ୍ରକୃତରେ ତାହାହିଁ ହୋଇଥାଏ ।

ଅନ୍ୟ ପକ୍ଷରେ, କ୍ଲୋରିନ୍ ପରି ଗୋଟିଏ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥରେ ଯଦି ଆଉ ଗୋଟିଏ ଅଧିକା ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଆଆନ୍ତା, ତେବେ ଅର୍ଗନରେ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ସଜ୍ଜା ହେବା ପରି ସଜ୍ଜା ହୋଇ ପାରିଥାଆନ୍ତା । ପିରିଅଡିକ୍ ଟେବୁଲ୍‌ରେ ନୋବଲ୍ ଗ୍ୟାସମାନଙ୍କର ଠିକ୍ ପୂର୍ବରୁ ଥିବା ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥଗୁଡ଼ିକ ଗୋଟିଏ ଅଧିକ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଗ୍ରହଣ କରିବାର ପ୍ରବୃତ୍ତି ଦେଖାନ୍ତି, ତେଣୁ ଏମାନେ ବିଯୁକ୍ତ ଆୟନ ଗଠନ କରନ୍ତି । ପ୍ରକୃତରେ, ଏହି ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ କେତେକ ସୁଷମ ପରମାଣୁ ଅପେକ୍ଷା କମ୍ ଶକ୍ତିବାନ୍ ଓ ଅଧିକ ସ୍ଥାୟୀ ବିଯୁକ୍ତ ଆୟନ ଗଠନ କରିଥାନ୍ତି । ହାଲୋଜେନ, ଅକ୍‌ସିଜେନ ଓ ସଲଫର ପାଇଁ ଏ ଉକ୍ତି ସତ୍ୟ ଅଟେ । କଠିନ ଅବସ୍ଥାରେ, ଏହି ପରମାଣୁମାନେ ମୁକ୍ତ ହୋଇଯିବା ଭଳି କୌଣସି ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଧାରଣ କରି ନଥାନ୍ତି । ତେଣୁ ଏହି ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥଗୁଡ଼ିକ ବୈଦ୍ୟୁତିକ କୁପରିବାହୀ ହେବା ବୁଝାଯାଇ ପାରୁଛି ।

ଏହି ଚିତ୍ରାଧାର ସୋଡ଼ିୟମ୍ କ୍ଲୋରାଇଡ ପରି ଯୌଗିକ ପଦାର୍ଥ ଗଠନର ଏକ ସମୀକ୍ଷା ଦେଉଅଛି । ଏକତ୍ରିତ ହେଲାବେଳେ ସୋଡ଼ିୟମ ପରମାଣୁ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ହରାଉଛି, ଏହାର ଅବଶିଷ୍ଟ 10ଟି ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ନିୟନର ସ୍ଥାୟୀ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ସଜ୍ଜା ଦେଉଅଛି (କିନ୍ତୁ, ସୋଡ଼ିୟମର ନିଉକ୍ଲିୟସର ଚାର୍ଜ ଅଧିକ ହୋଇଥିବାରୁ ଏଗୁଡ଼ିକ ଅଧିକ ନିକଟତର ହୋଇଯାଇଥାନ୍ତି ।) ସୋଡ଼ିୟମ ହରାଇଥିବା ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଟିକୁ କ୍ଲୋରିନ

ପରମାଣୁ ନେଇ ତା'ର 17ଟି ସାଙ୍ଗରେ ଯୋଗ କରେ, 18ଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଅର୍ଗନର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସଜ୍ଜା ପରି ସ୍ଥାୟୀ ସଜ୍ଜା ହୋଇଥାଏ (କିନ୍ତୁ ସାମାନ୍ୟ ବିସ୍ତାରିତ ହୋଇଥାଏ। ତେଣୁ ଏହିପରି ଗଠିତ ଦୁଇ ଆୟନର ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ ଆକର୍ଷଣ ଦୁହିଁଙ୍କୁ ଗୋଟିଏ ଅଣୁରେ ବାନ୍ଧିବ। ଏହିପରି ଗଠିତ ହୋଇଥିବା ଅଣୁ ଯେତେବେଳେ ପାଣିରେ ରଖାଯାଏ, ଆୟନମାନଙ୍କର ଆକର୍ଷଣ କମିଯାଏ, ତେଣୁ ଅଣୁଟି ଏହାର ବିଭିନ୍ନ ଆୟନରେ ଭାଙ୍ଗିଯାଏ। ଏତେବେଳେ ପ୍ରତ୍ୟେକର ବାହ୍ୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଦଳ ନିଷ୍କ୍ରିୟ ଗ୍ୟାସର ସଜ୍ଜା ପରି ସଜେଇ ହୋଇଥାଏ। ସୋଡ଼ିୟମ କ୍ଲୋରାଇଡ଼ର ଗୋଟିଏ ଛୁଟିକରେ ମଧ୍ୟ ଅଣୁମାନଙ୍କରେ ବାନ୍ଧି ହେବା ଗୁଣ ହଜିଯାଏ; ଏପ୍ରକାରର ଛୁଟିକଗୁଡ଼ିକ ଆୟନମାନଙ୍କୁ ନେଇ ଗଠିତ ହୋଇଥାଏ, ଅଣୁମାନଙ୍କୁ ନେଇ ଗଠିତ ହୁଏନାହିଁ। ତେଣୁ ସବୁ ନୋବଲ୍ ଗ୍ୟାସରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସଜ୍ଜା ସ୍ୱଳ୍ପ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ବିଶେଷ ସ୍ତବରେ ସ୍ଥାୟୀ ସଜ୍ଜା ବୋଲି ଧରି ନେବା, ତେବେ ବହୁ ଭୌତିକ ଓ ରସାୟନିକ ଘଟଣାକୁ ପରସ୍ପର ସହିତ ସମ୍ପୃକ୍ତ କରିହେବ।

ପରମାଣୁର ସମୀକ୍ଷାଶୀଳ ତତ୍ତ୍ୱର ଗୋଟିଏ ପ୍ରଧାନ ସମସ୍ୟା ହେଲା, ତେତେକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ସଜ୍ଜା ପାଇଁ ଅଧିକ ସ୍ଥାୟିତ୍ୱ କାହିଁକି ବୁଝାଇବା। ତେବେ ନୋବଲ୍ ଗ୍ୟାସ-ମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ପିରିଅଡ଼ିକ୍ ଟେବୁଲ୍‌ରେ ସମାନ୍ତରରେ ବିଭିନ୍ନ ପଦାର୍ଥର ଉପସ୍ଥିତି ବୁଝାଇବାକୁ ହେବ। ପାରମାଣବିକ ଓଜନ ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଏହି ପଦାର୍ଥଗୁଡ଼ିକର ସଂଖ୍ୟା ଅଧିକ ହୁଏ ଓ ଗୋଟିଏ ଶ୍ରେଣୀ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ପଦାର୍ଥଗୁଡ଼ିକ ଗୁଣରେ ଅଧିକ-ପରିମାଣରେ ସମାନ ହୁଅନ୍ତି; ଅନେକ ଦୁର୍ଲ୍ଲଭ ମୃତ୍ତିକାକୁ ରସାୟନିକ ପ୍ରଣାଳୀରେ ପୃଥକ୍ କରିବା କଷ୍ଟକର ହୋଇପଡ଼େ। ଯେଉଁ ତତ୍ତ୍ୱ ଯଥା ସମ୍ଭବ ଅଳ୍ପ ଅନୁମାନ ନେଇ ଏସବୁ ରସାୟନିକ ଗୁଣ ଓ ପାରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା ମଧ୍ୟରେ ଆପେ ଆପେ ସମ୍ବନ୍ଧ ସୃଷ୍ଟି କରି ପାରିବ, ତାହାହିଁ ସଫଳ ତତ୍ତ୍ୱ ହେବ।

15·4 ପ୍ରଥମ ଦୁଇ ପିରିଅଡ଼କ୍ :

ଶେଷରେ ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ପାଉଲି ଅପବର୍ଜନ ନିୟମ ଓ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ନିୟମ ସାହାଯ୍ୟରେ ପିରିଅଡ଼ିକ୍ ଟେବୁଲ୍‌ର ସୂବକାଠି ଖୋଲିଦେଲା। ପଦାର୍ଥଗୁଡ଼ିକୁ ସେମାନଙ୍କର

ପାରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟାମାନଙ୍କର କ୍ରମରେ ନେଇ ବର୍ତ୍ତମାନ ଦେଖାଇ ହୁଅାଯିବ ଯେ, ତରଙ୍ଗ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀରୁ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ସମବେତ ହେବାର ଯେଉଁ ପ୍ରଣାଳୀ ମିଳିବ, ତାହା ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କ ରକମ ବୁଝାଇ ଦେଇ ପାରିବ । ସୂକ୍ଷ୍ମ ପରମାଣୁ ବିଷୟ ବିସ୍ତୃତ କରାଯିବ ।

(କ) $Z=1$: ହାଇଡ୍ରୋଜେନ-- ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଥିଲେ ସାଧାରଣ ଅବସ୍ଥାରେ ଏହା ଗୋଟିଏ $1s$ ଅବସ୍ଥାରେ ରହିବ । m_sର ଦୁଇଟି ସମ୍ଭାବ୍ୟ ମୂଲ୍ୟ ଥିବାରୁ ବିକାଶ ଘଟିଥାଏ ।

(ଖ) $Z=2$: ହିଲିୟମ—ଯେଉଁ ନିଉକ୍ଲିୟସ ପାଇଁ $z=2$ ସେଥିରେ ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଏକତ୍ରିତ ହୋଇ ରହନ୍ତି । ଏ ଦୁଇଟି $1s$ ଅବସ୍ଥାରେ ଥାଆନ୍ତି ଓ ସେଗୁଡ଼ିକର କ୍ବାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟାଗୁଡ଼ିକ ହେଲା $1, 0, 0, \frac{1}{2}$ ଓ $1, 0, 0, -\frac{1}{2}$ ହିଲିୟମରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋନୀୟ ମେଘ ବାଦଲ ଗୋଲକାକାରରେ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ହୋଇଥିବାରୁ, ପରମାଣୁର ବାହାରେ ପ୍ରାପ୍ୟ କୌଣସି ବିଦ୍ୟୁତ କ୍ଷେତ୍ର ନଥାଏ । ହିଲିୟମ୍‌ର ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକର ଏହି କାରଣରୁ ଏକତ୍ରିତ ହୋଇ ତରଳ ଓ କଠିନ ଅବସ୍ଥା ସୃଷ୍ଟି କରିବାର ପ୍ରବୃତ୍ତି ଅତି କମ୍ ଥାଏ । ଏହା ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ଫଳ ସହିତ ମିଳିଯାଏ । ହିଲିୟମ୍‌ରେ k କୋଷଟି ପୂର୍ଣ୍ଣ ହୋଇଥାଏ; ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ସଜ୍ଜା ହେଲା $1s^2$ । ଏହାଠାରୁ ଅନ୍ୟ ସବୁ ଗୁରୁ ପରମାଣୁମାନଙ୍କରେ ନିଉକ୍ଲିୟସର ନିକଟତମ ଅବସ୍ଥାନରେ ଏହିପରି ଗୋଟିଏ ପୂର୍ଣ୍ଣ k କୋଷ ମିଳିବ ବୋଲି ଆଶା କରାଯିବ ।

(ଗ) $Z=3$: ଲିଥିୟମ ହିଲିୟମ—ସଦୃଶ ଏକ ଅଭ୍ୟନ୍ତର ବାହାରେ ତୃତୀୟ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଟି $n=2$ ଅବସ୍ଥାରେ ରହିବ । ଗୋଟିଏ $2s$ ତରଙ୍ଗଫଳନ ସହିତ ସଂଯୁକ୍ତ ଶକ୍ତି 2P ଫଳନ ସହିତ ସଂଯୁକ୍ତ ଶକ୍ତିଠାରୁ ପାରମାଣବିକ କେନ୍ଦ୍ରୀୟ କ୍ଷେତ୍ରରେ (ଦେଖ, ଅନୁ: ୯୫·୬) କେତେକ ପରିମାଣରେ କମ୍; ତେଣୁ ଗୋଟିଏ ସାଧାରଣ ଲିଥିୟମ୍‌ର ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ସଜ୍ଜା ହେଲା $1s^2 2s$ $1s$ ଗଢ଼ ଅର୍ଥ $l=0$ ହୋଇଥିବାରୁ $m_l=0$, କିନ୍ତୁ $m_s=\pm\frac{1}{2}$, ତେଣୁ ଲିଥିୟମ୍‌ର ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ଦ୍ୱିବିକାଶ ଘଟିଥାଏ ।

ଗୋଟିଏ $2s$ ତରଙ୍ଗ ଫଳନର ଶକ୍ତି $1s$ ଫଳନ ଅପେକ୍ଷା ବହୁ ଉଚ୍ଚରେ ରହିଥାଏ । ଯଦି କ୍ଷେତ୍ରଟି ଏକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପରମାଣୁ ପାଇଁ ହେବାଭଳି କୁଲମ୍ବ କ୍ଷେତ୍ର

ହୋଇଥାଏ, ଆମେ ସମୀକରଣ (୧୪·୧୦) ବ୍ୟବହାର କରିପାରିବା । ଏଥିରୁ ଦେଖାଯିବ ଯେ, ଏପରି କ୍ଷେତ୍ର ପାଇଁ 1*s* ଅବସ୍ଥା ଆୟନୀଭୂତ ସ୍ତରର ଯେତେ ତଳକୁ ରହିଥାଏ, 2*s* ଅବସ୍ଥା ତା'ର ଏକ ଚତୁର୍ଥାଂଶ ତଳକୁ ରହିଥାଏ । ତେଣୁ 2*s* ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟିକୁ ଅପେକ୍ଷାକୃତ ସହଜରେ ବାହାର କରି ଦେଇହେବ । ଲିଥିୟମ୍ ସହଜରେ ଯୁକ୍ତ ଅୟନ ଗଠନ କରିପାରେ ଓ ଏହା କଠିନ ଅବସ୍ଥାରେ ଥିବାବେଳେ ବିଦ୍ୟୁତ୍ ପରିବହନ କରିପାରେ କାରଣ ସେତେବେଳେ 2*s* ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ "ମୁକ୍ତ" ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପରି କାର୍ଯ୍ୟ କରେ । Li_2O, $LiOH$, $Licl$ ପ୍ରଭୃତି ଯୌଗିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କରୁ ଦେଖାଯାଉଛି ଯେ, ରାସାୟନିକ ସ୍ତରରେ ଏକସଂଯୋଜକତା ଥାଏ ।

ଲିଥିୟମରୁ 2*s* ବା ସଂଯୋଜକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନକୁ ବାହାର କରିବାପାଇଁ ଯେତେ ଶକ୍ତି ଦରକାର ହୁଏ, 1*s* ଇଲେକ୍ଟ୍ରନକୁ ଦୂର କରିବାପାଇଁ ତା'ଠାରୁ ବହୁ ଅଧିକ ଶକ୍ତି ଦରକାର ହୋଇଥାଏ । ଲିଥିୟମର ପ୍ରଥମ ଆୟନକରଣ ବିଭବ 5·39V ଓ ଦ୍ୱିତୀୟ ଆୟନକରଣ ବିଭବ 75·6V ବୋଲି ପରୀକ୍ଷାଦ୍ୱାରା ସ୍ଥିର ହୋଇଅଛି । ଏହି ତତ୍ତ୍ୱ ସିଦ୍ଧାନ୍ତ ସହି ଖାପ ଖାଇଥାଏ । ଆଉ ମଧ୍ୟ, ଦ୍ୱିତୀୟ କୋଷରେ ଥିବା ଗୋଟିକିଆ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଲାଗି ସାମାନ୍ୟ ତତ୍କାଳୀକ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ଆଶା କରି ଯାଇ ନଥିବାରୁ ଲିଥିୟମ ପରମାଣୁ ପୃଷ୍ଠପଟେ ଅବଶିଷ୍ଟ ବିଦ୍ୟୁତ କ୍ଷେତ୍ର ରହିଯିବ ଏବଂ ଏହା ଫଳରେ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ଏକତ୍ରିତ ହୋଇ ସହଜରେ ସାନ୍ଦ୍ର ଅବସ୍ଥା ସୃଷ୍ଟି କରିବ । ଲିଥିୟମର ତରଳାଙ୍କ 454°*k* ଓ ସ୍ଫୁଟନାଙ୍କ 1599°*k* ।

ପ୍ରଥମ ଲିଥିୟମ ପରମାଣୁର ବିକିରଣ ବା ଏହାର ଆର୍କ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ପ୍ରଧାନତଃ ଏକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଠାରୁ ଆଶା କରାଯିବା ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ପରି । ସ୍ପାର୍କ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ଏକକ ଆୟନଭୂତ ପରମାଣୁର ବିକିରଣ ବୋଲି ଧରାଯାଏ । ଏହି ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ପ୍ରଥମ ହିଲିୟମର ଆର୍କ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ଥିବାପରି ଏକାଧାର ଓ ତ୍ରିଧାର ରେଖାସବୁ ରହିଥାଏ । ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁଯାୟୀ ଆମେ ଏହାହିଁ ଆଶା କରିବା କଥା, କାରଣ ଗୋଟିଏ ପ୍ରଥମ ହିଲିୟମ୍‌ରେ ଯେତିକି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଥାଏ, ଗୋଟିଏ ଏକ-ଆୟନୀଭୂତ ଲିଥିୟମ ପରମାଣୁରେ ସେତିକି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଥାଏ । ତେବେ ହିଲିୟମରେ ଏହି ରେଖାଗୁଡ଼ିକର ଆବୃତ୍ତି ଯେତେ, ଲିଥିୟମ୍

ପାଇଁ ତାହା ଯଥେଷ୍ଟ ଅଧିକ ହୋଇଥାଏ, କାରଣ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ଅଧିକ ଚାର୍ଜ ହୋଇଥିବାରୁ ସବୁ ଶକ୍ତିସ୍ତର ଅଧିକ ତଳକୁ ରହିଥାନ୍ତି ।

ପରମାଣୁ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମମାନଙ୍କରେ ପୂର୍ବୋକ୍ତ ପରମାଣୁମାନଙ୍କରୁ ଉଦ୍ଗତ ରେଖାମାନଙ୍କ ସମସଂଖ୍ୟକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଯୁକ୍ତ ଆୟନମାନଙ୍କରୁ ଉଦ୍ଗତ ରେଖାମାନଙ୍କର ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ରହିଅଛି । ସମସଂଖ୍ୟକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବିଶିଷ୍ଟ ପରମାଣୁ ଓ ଆୟନମାନଙ୍କର ଶ୍ରେଣୀକୁ ଗୋଟିଏ ସମ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ଶ୍ରେଣୀ ବୋଲି କୁହାଯାଏ ଯଥା— He, Li^{+}, Be^{++}, B^{3+}, C^{3+} ପ୍ରଭୃତି । ସମଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ଶ୍ରେଣୀରୁ ଉଦ୍ଗତ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର ବିନ୍ୟାସ ପ୍ରାୟ ସମାନ, କିନ୍ତୁ ଆୟନର ଅବସ୍ଥାରେ ବୃଦ୍ଧି ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଅଧିକତର ଆବୃତ୍ତି ଆଡ଼କୁ ଘୁଞ୍ଚିଯାଇଥାଏ ।

(ଘ) **Z = 4 :** ବେରିଲିୟମ୍ K କୋଷର ବାହାରେ ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ $2s$ ଅବସ୍ଥାରେ ରହିପାରେ, କେବଳ ଯେମାନେ ବିପରୀତ ଘୂର୍ଣ୍ଣନରେ ରହିବେ । ପରିଣାମରେ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥଟି ଦ୍ୱିସଂଯୋଜକତା ବିଶିଷ୍ଟ ହେବ, କାରଣ ଦୁଇଟିଯାକ $2s$ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଅପେକ୍ଷାକୃତ ସହଜରେ ବାହାରି ଯାଇ ପାରିବେ । ପ୍ରକୃତରେ ତାହାହିଁ ହୋଇଥାଏ । ଅକ୍ସାଇଡ୍, ହାଇଡ୍ରକ୍ସାଇଡ୍ ଓ କ୍ଲୋରାଇଡ୍‌ର ସଙ୍କେତ BeO, $Be(OH)_2$, $BeCl_2$ । ବେରିଲିୟମ୍‌ର ପ୍ରଥମ ଦୁଇଟି ଆୟନୀକରଣ ବିଭବ ହେଲା 9·3 ଓ 18·2V । ତୃତୀୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟିକୁ $1s$ କୋଷରୁ ବାହାର କରିବାପାଇଁ $154eV$ ଦରକାର ହୋଇଥାଏ ଏବଂ ଶେଷ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟିକୁ ବାହାର କରିବାପାଇଁ $218eV$ ଦରକାର ହୁଏ ।

ପୁଣି ଥରେ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରୁ ମିଳୁଥିବା ପ୍ରମାଣ ତତ୍ତ୍ୱର ସଠିକତା ପ୍ରତିପାଦନ କଲା । ବେରିଲିୟମର ଆର୍କ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର ପୂର୍ବୋକ୍ତ ହିଲିୟମର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ପରି ଏକଧାର ଓ ତ୍ରିଧାର ବିଶିଷ୍ଟ । ଅନ୍ୟ ପକ୍ଷରେ, ସ୍ପାର୍କ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ପୂର୍ବୋକ୍ତ ଲିଥିୟମର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ପରି ଦ୍ୱିଧାର ବିଶିଷ୍ଟ ରେଖାସବୁ ଦେଖାଯାଏ. ଏଗୁଡ଼ିକ ଏକ ଥର ଆୟନୀଭୂତ ବେରିଲିୟମ ପରମାଣୁ ଦ୍ୱାରା ଉଦ୍ଗତ ହୋଇଥାନ୍ତି । ସ୍ପାର୍କ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ କେତେକ ଏକଧାର ବିଶିଷ୍ଟ ରେଖା ଜଣାଯାଏ; ସେମାନେ ଦ୍ୱିଆୟନୀଭୂତ ବେରିଲିୟମ ପରମାଣୁର ଦ୍ୱିଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର ଏକ ଅଂଶ । ତ୍ରିଆୟନୀଭୂତ ପରମାଣୁ ଜନିତ ରେଖାସବୁ ମଧ୍ୟ ଦେଖାଯାଏ ।

(ଙ) $Z=5$, ବୋରନ୍—ଏହାର ପରମାଣୁରେ 5ଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଥିବାରୁ ଗୋଟିଏ $2p$ ଅବସ୍ଥାକୁ ସ୍ଥାନ ପାଏ । ବୋରନ ଗୋଟିଏ ତ୍ରିସଂଯୋଜକତା ବିଶିଷ୍ଟ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ; B_2O_3 , $B(OH)_3$, BCl_3 ଏହାର ପ୍ରମାଣ । ଏହାର ଧାତବ ନୁହେଁ; ବୋରନର ସ୍ଫଟିକସବୁ ଉତ୍ତମ କୁପରିବାହୀ । ଏହାର L କୋଷରେ ତିନୋଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଥିବାରୁ କଠିନ ଅବସ୍ଥାରେ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ମିଳିବା ସହଜ ନୁହେଁ । ଗୋଟିଏ ବୋରନ ପରମାଣୁରୁ $2p$ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବାହାର କରିବାପାଇଁ କେବଳ 8·3 eV ଦରକାର ହୋଇଥାଏ; ଦୁଇଟି $2s$ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପରେ ପରେ ବାହାର କରିବାପାଇଁ 25 ଓ 38eV ଦରକାର ହୋଇଥାଏ; ଗୋଟିଏ $1s$ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବାହାର କରିବା ପାଇଁ ଅନ୍ତତଃ 259eV ମଧ୍ୟ ଦରକାର ହୁଏ ।

ଏହାର ପର ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥଗୁଡ଼ିକୁ ସହଜରେ ବୁଝିବାପାଇଁ ସେଗୁଡ଼ିକ ବର୍ତ୍ତମାନ ପାଇଁ ଛାଡ଼ିଦେଇ ଆମେ ଏହାପରେ ନିୟନ କଥା ବିଚାର କରିବା ।

(ଚ) $Z=10$, ନିୟନ—ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁରେ ଦୁଇଟି $2s$ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଓ ଛଅଟି $2p$ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ, ଏହିପରି $n=2$ରେ 8ଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ରହିବା ସମ୍ଭବ । m_l ଓ m_sର ସମସ୍ତ ସମ୍ଭାବ୍ୟ ମୂଲ୍ୟ ନେଇ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନସବୁ ଗୋଟିଏ ବାଦଲ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଚାରିପଟେ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ହୋଇଥାଏ, ଠିକ ଯେପରି ହିଲିୟମ୍‌ରେ ହୁଏ; ବର୍ତ୍ତମାନ ଏହି ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ଗୁଣ ଏପରି ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ହୋଇଗଲା ଯେ ସ୍ୱଳ୍ପ ସ୍ଫୁରଣାଙ୍କ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ଗ୍ୟାସ ମିଳି ପାରିବ । ପ୍ରଥମ ନିୟନ ସାଧାରଣ ଅବସ୍ଥାରେ $1s^2$ $2s^2$ $2p^6$ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବିନ୍ୟାସ ବିଶିଷ୍ଟ ହୋଇଥାଏ ।

(ଛ) $Z=9$: ଫ୍ଲୋରିନ୍—($1s^2$ $2s^2$ $2p^5$) ଯଦି $Z=9$, ପ୍ରଥମ ପରମାଣୁର L କୋଷରେ ଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଥାଏ ବା ଯେତୋଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ହେଲେ ଏହା ପୂର୍ଣ୍ଣ ହୋଇଥାନ୍ତା, ତାଠାରୁ ଗୋଟିଏ କମ୍ ଥାଏ । ଯଦି ଆଉ ଗୋଟିଏ ଅଧିକା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଦିଆଯାଏ, ଆମେ ଗୋଟିଏ ବିଯୁକ୍ତ ଆୟନ ପାଇବା । ଏହି ଆୟନର ବାହ୍ୟ ଅଂଶ ନିୟନରେ ବନ୍ଦ ହୋଇଥିବା ପରି ବନ୍ଦ ହୋଇଥିବ । ଗୋଟିଏ ଯୁକ୍ତ ଆୟନରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଯୋଗ କଲେ ଯେତେ ଶକ୍ତି କ୍ଷୟ ହେବ, ଗୋଟିଏ ପ୍ରଥମ ପରମାଣୁରେ

ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଯୋଗ କଲେ ସେଠିକି ଶକ୍ତି ଋଷଣ୍ଟ ହେବ ବୋଲି ଆଶା କରାଯାଇ ନପାରେ; କିନ୍ତୁ ଅନ୍ୟ ପକ୍ଷରେ, ପରମାଣୁର $n=2$ କୋଷରେ ଅଧିକ ସ୍ଥାନଯୁକ୍ତ ଫ୍ଲୁଅରିନ୍‌ର କ୍ଷେତ୍ର ($Z=9$)ରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ଯୋଗ କରାଯାଇଅଛି । ତେଣୁ ଆମେ ବୁଝିପାରୁଥାଉଁ ଯେ ଫ୍ଲୋରିନ୍ ସ୍ଥାୟୀ ଏକ ସଂଯୋଜକତା ବିଶିଷ୍ଟ ବଯୁକ୍ତ ଆୟନ ଗଠନ କରିଥାଏ, ଅର୍ଥାତ୍ ସ୍ୱୟଂ ପରମାଣୁଠାରୁ ଏହାର ଶକ୍ତି କମ୍ ହୋଇଥାଏ ଓ ରାସାୟନିକ ପ୍ରକ୍ରିୟାମାନଙ୍କରେ ଏହା ଏକ ସଂଯୋଜକତା ଗୁଣ ଦେଖାଇଥାଏ । ଫ୍ଲୋରିନ ପରମାଣୁଦ୍ୱାରା ଅଧିକା ଦ୍ୱିତୀୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟିଏ ଆବଦ୍ଧ ହେବାର କମ୍ ପ୍ରବୃତ୍ତି ଥାଏ, କାରଣ ଏହା $n=3$ ଅବସ୍ଥାରେ ସ୍ଥାନ ପାଇବ ଓ ଏହାର ଶକ୍ତି ଯଥେଷ୍ଟ ବେଶୀ ।

(ଜ) $Z=8, 7$—ଅକ୍ସିଜେନ ($Z=8$, $1s^2\ 2s^2\ 2p^4$) ସାଧାରଣତଃ ରାସାୟନିକ ପ୍ରକ୍ରିୟାମାନଙ୍କରେ 2 ବଯୁକ୍ତ ସଂଯୋଜକତା ଦେଖାଇଥାଏ, ଯେପରିକି Li_2O ବା ଲିଥିୟମ୍ ଅକ୍ସାଇଡ଼ । ନାଇଟ୍ରୋଜେନ ($Z=7$, $1s^2\ 2s^2\ 2p^3$) । ସାଧାରଣତଃ ତ୍ରିସଂଯୋଜକତା ବିଶିଷ୍ଟ, ଯେପରିକି Li_3N ବା ଲିଥିୟମ ନାଇଟ୍ରାଇଡ୍ । ଅନେକ ସମୟରେ ନାଇଟ୍ରୋଜେନ ଅକ୍ସିଜେନ ସହିତ ଗୋଟିଏ ଯୌଗିକ ପଦାର୍ଥରେ ମିଳିତ ହୋଇଥାଏ, ଯେପରି $LiNO_3$ ।

(ଝ) $Z=6$, କାର୍ବନ ($1s^2\ 2s^2\ 2p^2$)—L କୋଷରେ 8ଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ପାଇଁ ସ୍ଥାନ ଥିବାବେଳେ ଏଥିରେ ମାତ୍ର 4ଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଏଠାରେ ଥାଏ । ତେଣୁ ଅନ୍ୟ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କ ସହ ମିଳିତ ହେବାବେଳେ ଏହା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗ୍ରହଣ କରିବ ନା ପରିତ୍ୟାଗ କରିବ, ସେହି ପ୍ରଶ୍ନ ଉଠେ । ଗୋଟିଏ ସହସଂଯୋଜକ ବନ୍ଧନରେ (ଅନୁ: ୨୧·୨) ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକୁ ଭାଗ କରିବା ଏହାର ସାଧାରଣ ସମାଧାନ । ଅସ୍ଫଟିକ ଅବସ୍ଥାରେ (ଗ୍ରାଫାଇଟ୍) କାର୍ବନ ମୋଟାମୋଟି ଭାବରେ ଧାତବ ପରିବାହନ ଗୁଣ ଦେଖାଏ, କିନ୍ତୁ ଡାଏମଣ୍ଡ ଆକାରରେ ଥିଲାବେଳେ ଏହା ଅତ୍ୟନ୍ତ କୁପରିବାହୀ ।

15·5 ପିରିଅଡ଼ିକ ଟେବୁଲର ଅବଶିଷ୍ଟାଂଶ :

$Z=11$ ଠାରୁ $Z=18$ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କର ଦ୍ୱିତୀୟ octet । ଏହା ପ୍ରଥମ octet ସହ ଅତି ନିବିଡ଼ ଭାବରେ ସମାନ୍ତର ଭାବେ ରହିଥାଏ । ସୋଡ଼ିୟମ

($Z=11$, $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s$) ନ୍ୟୁନ ଅଭ୍ୟନ୍ତରର ବାହାରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଧାରଣ କରିଥାଏ । ସୋଡ଼ିୟମ ଏକ-ସଂଯୋଜକତା ବିଶିଷ୍ଟ, ଯେପରିକି $NaOH$ଠାରେ ଓ ଲବଣଶୁଣା $NaCl$ରେ । ଏହାର ସ୍ପାର୍କ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ହେଲା ସାଧାରଣ ଏକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସ୍ପେକଟ୍ରମ । ସାଧାରଣ ଭାବରେ କହିଲେ, ଏହା ଅତି ଘନିଷ୍ଠ ଭାବରେ ଲିଥିୟମ୍‌ର ସଦୃଶ । ମାଗ୍ନିସିୟମ ($Z=12$) ବେରିଲିୟମ ପରି ଗୋଟିଏ ଦ୍ୱିସଂଯୋଜକତା ବିଶିଷ୍ଟ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ । ଏହା ତେଜସ୍ୱାନ ଶ୍ୱେତ ଶିଖାରେ ଜଳି ଉଠି ଅକ୍‌ସାଇଡ଼ MgO ଉତ୍ପନ୍ନ କରେ । ଏହାର ଆର୍କ ସ୍ପେକଟ୍ରମ ଏକଧାର ଓ ତ୍ରିଧାର ବିଶିଷ୍ଟ, ହିଲିୟମର ଆର୍କ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ସଦୃଶ । ଆଲୁମିନିୟମ ($Z=13$) ବୋରନ ପରି ତ୍ରିସଂଯୋଜକତା ବିଶିଷ୍ଟ; କିନ୍ତୁ ଏହା ଧାତବ ଓ ବିଦ୍ୟୁତର ସୁପରିବାହୀ । ସାଫାୟର ଓ ରୁବି ପରି ସେସ୍କୁଇ ଅକ୍‌ସାଇଡ଼, Al_2O_3, ସ୍ଫଟିକ ଆକାରରେ ମିଳେ । ସିଲିକନ୍ ($Z=14$) ଅନେକ ପରିମାଣରେ କାର୍ବନ ପରି । ତେବେ କ୍ୱାର୍ଟଜରେ ଯେଉଁ ଦ୍ୱିଅକ୍‌ସାଇଡ଼ ମିଳେ, ତାହାର ତରଳାଙ୍କ ବହୁତ ବେଶୀ, କିନ୍ତୁ ଏହାର ସଦୃଶ ଯୌଗିକ ପଦାର୍ଥ CO_2 ଗୋଟିଏ ଗ୍ୟାସ । ଏପ୍ରକାରର ବିପରୀତ ଧର୍ମ ତରଙ୍ଗ ଯାନ୍ତ୍ରିକରେ ଅତି ସୂକ୍ଷ୍ମ ବିଶ୍ଳେଷଣ ଦ୍ୱାରା ହିଁ ବୁଝିହେବ । ଫସ୍‌ଫରସ୍ ($Z=15$) ରସାୟନିକ ଦୃଷ୍ଟିରୁ ବଡ଼ ସକ୍ରିୟ ହେଲେ ମଧ୍ୟ ନାଇଟ୍ରୋଜେନର ସଦୃଶ ଯୌଗିକ ପଦାର୍ଥ ସବୁ ଗଠନ କରିଥାଏ । ବିଷାକ୍ତ ଗ୍ୟାସ ଫସ୍‌ଫିନ ବା PH_3ରେ ଏହା ତ୍ରିସଂଯୋଜକତା ବିଶିଷ୍ଟ, ଠିକ୍ ଯେପରି ନାଇଟ୍ରୋଜେନ ଗ୍ୟାସୀୟ ଆମୋନିଆ, NH_3ରେ ହୋଇଥାଏ । ସଲଫର୍ ($Z=16$) ଅକ୍‌ସିଜେନର ସଦୃଶ । ଅକସିଜେନ H_2Oରେ ଯେପରି ସଲଫର୍ H_2Sରେ ସେହିପରି ଦ୍ୱିସଂଯୋଜକତା ବିଶିଷ୍ଟ । କ୍ଲୋରିନ ($Z=17$) ଏକ ସଂଯୋଜକତା ବିଶିଷ୍ଟ ଓ ଦ୍ରବଣମାନଙ୍କରେ ସହଜରେ ବିଯୁକ୍ତ ଅୟନ କରିଥାଏ; ସାଧାରଣ ଭାବରେ କହିଲେ; ଏହା ଅତି ନିବିଡ଼ ଭାବରେ ଫ୍ଲୋରିନର ସଦୃଶ, ମାତ୍ର ତାଠାରୁ କମ୍ ସକ୍ରିୟ । ଶେଷରେ ଅର୍ଗନରେ ($Z=18$) ଆମେ ପୁଣି ଗୋଟିଏ ପୂର୍ଣ୍ଣ ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷ ବିଶିଷ୍ଟ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥରେ ପହଞ୍ଚୁଥାଉଁ. ଏହାର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ସଙ୍କେତ ହେଲା $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$ । ତେଣୁ ଆର୍ଗନରେ K ଓ L କୋଷଗୁଡ଼ିକ ପୂର୍ଣ୍ଣ ଓ ଏହାର ବାହାରେ ଦୁଇଟି ଅଧିକ ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷ ପୂର୍ଣ୍ଣ ହୋଇଅଛି । M କୋଷଟି ଏ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ପୂର୍ଣ୍ଣ ହୋଇନାହିଁ । କାରଣ $3d$ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ନାହିଁ । ତେବେ, $3p^6$ ସଜ୍ଜାରେ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ଆର୍ଗନର ଘୃଣପଟେ କ୍ଷେତ୍ରକୁ ଦୁର୍ବଳ କରିଦେବା ପାଇଁ ଯଥେଷ୍ଟ, ତେଣୁ ଏହା ଏକ ନୋବଲ୍ ଗ୍ୟାସ ପରି କାମ କରେ ଓ ଏହାର ସ୍ଫୁଟନାଙ୍କ ଅତି କମ୍ ($-186^\circ c$) ।

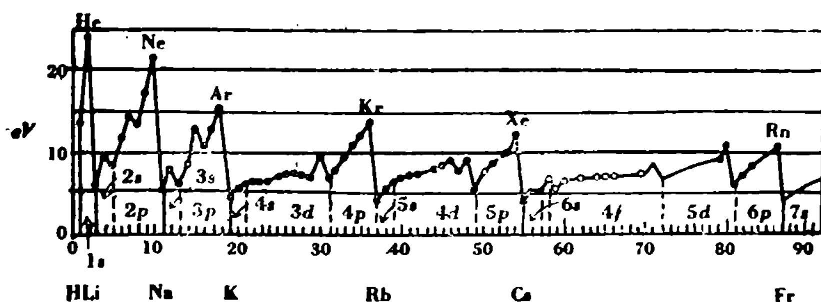
$Z=19$ରେ $3d$ ଅବସ୍ଥାରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ର ଯୋଗ ଆମେ ଆଶା କରିବା ($n=3$, $l=2$) । କିନ୍ତୁ ଏହା ପର ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ, ପଟାସିୟମ, ଅତି ନିବିଡ଼ ଭାବରେ ସୋଡ଼ିୟମ ଓ ଲିଥିୟମ୍‌ର ସଦୃଶ, କେବଳ ରାସାୟନିକ ଗୁଣରେ ନୁହେଁ, ଏହାର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ମଧ୍ୟ ଅତି ସୂକ୍ଷ୍ମ ଭାବରେ ବିସ୍ତାର କଲେ ଏହା ସଦୃଶ । ପାରମାଣବିକ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ଦୃଶ୍ୟମାନ ଅଞ୍ଚଳର ବିକିରଣ ଧାରଣ୍ଡ ଲାଗି ରହିଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଲାଗି ହେଉଥିବାରୁ ବାହ୍ୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ମାନଙ୍କ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଏହା ମୂଲ୍ୟବାନ୍ ତଥ୍ୟ ଯୋଗାଇ ଥାଏ । ତରଙ୍ଗ ଯାନ୍ତ୍ରିକ ହିସାବରୁ ରାସାୟନିକ ଓ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରୋସ୍କୋପୀୟ ସିଦ୍ଧାନ୍ତଗୁଡ଼ିକର ସଠିକତା ପ୍ରତିପାଦିତ ହେଲା । ପଟାସିୟମରେ ସଂଯୋଜକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ $4s$ ଅବସ୍ଥାରେ ଅଛି, $3d$ ଅବସ୍ଥାରେ ନୁହେଁ । ଏହାର କାରଣ ଗୁଣାତ୍ମକ ଭାବରେ ଅନୁ: ୧୫·୭ରେ ଦିଆ ଯାଇଅଛି ।

ଏହାର ପର ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ କାଲ୍‌ସିୟମ ($Z=20$) । ଏହା ପୁଣି octetର ମାଗ୍ନିସିୟମର ସଦୃଶ, କିନ୍ତୁ ଏହା ପରେ କ୍ରମେ ସୁଖ ବଦଳି ଯାଇଅଛି । ସ୍କାଣ୍ଡିୟମ ($Z=21$, $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ 4s^2\ 3d$)ଠାରୁ ଆରମ୍ଭ କରି $3d$ ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷ ପୂର୍ଣ୍ଣ ହେବାକୁ ଆରମ୍ଭ କଲା, ଏହା $n=3$ କୋଷକୁ ଆପାତତଃ ସ୍ଥାୟୀ S^2P^6 octetରୁ ପ୍ରସାରି 18 ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ପୂର୍ଣ୍ଣ ଦଳରେ ପରିଣତ କଲା । ଅସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ d କୋଷ ବିଶିଷ୍ଟ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ଯେଉଁ ଦଳର ତାକୁ ଟ୍ରାଞ୍ଜିସନ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ କୁହାଯାଏ । ଏଗୁଡ଼ିକ ମଧ୍ୟରୁ ଅନେକର ଅର୍ଥନୀତିକ ଓ ବୈଜ୍ଞାନିକ ପ୍ରାଧାନ୍ୟ ରହିଅଛି । ସେମାନେ ରାସାୟନିକ ଗୁଣରେ ଏକପ୍ରକାର ସମାନ, ଏହି ରାସାୟନିକ ଗୁଣ ପ୍ରଧାନତଃ ବାହ୍ୟ 4s ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଦ୍ୱାରା ସ୍ଥିର ହୋଇଥାଏ । ସମସ୍ତ $3d$ ଟ୍ରାଞ୍ଜିସନ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ ପାଇଁ $3d$ ଓ 4s ଶକ୍ତିସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ଅତ୍ୟନ୍ତ ପାଖାପାଖି । ପ୍ରକୃତରେ କ୍ରୋମିୟମର ($Z=11$) ବାହ୍ୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସଜ୍ଜା ହେଲା $3d^5 4s$ । ନିକେଲ ($Z=28$) ପାଇଁ ଏହି ସଜ୍ଜା ହେଲା $3d^8\ 4s^2$; କିନ୍ତୁ କପର୍ ($Z=29$)ଠାରୁ ଆଗକୁ ଗଲେ $3d$ ସ୍ତର $4s$ର ତଳେ ରହେ ।

ଗାଲିୟମ ($Z=31$) ଓ ନୋବଲ ଗ୍ୟାସ୍ କ୍ରିପ୍‌ଟନ ($Z=36$) ମଧ୍ୟରେ $4p$ ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷ ପୂର୍ଣ୍ଣ ହୋଇଯାଏ । ପ୍ରତି ନୋବଲ୍ ଗ୍ୟାସ୍ ପରେ ଯେପରି ଘଟିଥାଏ, ଏଠାରେ

ପର ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥଟି ଗୋଟିଏ ନୂଆ କୋଷ ଆରମ୍ଭ କରିଥାଏ । ରୁବିଡ୍‌ଏମ୍ (Z = 37)ର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସଜ୍ଜାରେ ଗୋଟିଏ କ୍ରିପଟନ ଅଭ୍ୟନ୍ତର ଓ ଗୋଟିଏ 5s ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଥାଏ । 5s ଉପକୋଷ ପୂର୍ଣ୍ଣ ହେବାପରେ, 4d, 5p ଓ 6s ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ପୂର୍ଣ୍ଣ ହୁଏ । ସିରିୟମ (Z = 58)ରୁ ଆରମ୍ଭ କରି 14ଟି 4f ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗୋଟି ଗୋଟି ହୋଇ ଯୋଗ ହୋଇଯାଏ, ଯଦିଓ 5s ଓ 5p ଉପକୋଷଗୁଡ଼ିକ ଆଗରୁ ପୂର୍ଣ୍ଣ ହୋଇ ସାରିଥାଏ । ଏ ସମସ୍ତ ପରମାଣୁର ବାହ୍ୟ ଅତି ନିବିଡ଼ ଭାବରେ ସମାନ, ତେଣୁ ଆମେ ରାସାୟନିକ ଭାବରେ ଗୋଟିଏ ଦଳ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ ପାଉ, ଦୁର୍ଲଭ ମୃତ୍ତିକା ।

ପରିଶିଷ୍ଟରେ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥଗୁଡ଼ିକର ସାଧାରଣ ଅବସ୍ଥାରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ବିନ୍ୟାସ ଦିଆଯାଇଅଛି । ପ୍ରତି ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥର ପ୍ରଥମ ପରମାଣୁର, ଆୟନୀକରଣ ଶକ୍ତି ଟେବୁଲ୍‌ରେ ଦିଆଯାଇଅଛି; ପରମାଣୁରୁ ସବୁଠାରୁ ଅଧିକ ଢିଗୁଲା ଭାବରେ ବନ୍ଧାଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନକୁ ବାହାର କରିଦେବାପାଇଁ ଯେତେ ଶକ୍ତି ଦରକାର ହୁଏ, ତାକୁ ତାର ଆୟନକରଣ ଶକ୍ତି କୁହାଯାଏ । ଚିତ୍ର ୧୬.୩ରେ ଏହି ଆୟନକରଣ ଶକ୍ତି ଅଙ୍କିତ ହୋଇଅଛି । ବାହ୍ୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା ଓ ଆୟନକରଣ ବିଭବଗୁଡ଼ିକ ମଧ୍ୟରେ ଏକ ଶୃଙ୍ଖଳିତ ସମ୍ବନ୍ଧ ମିଳିବା ଉଚିତ, ନୋବଲ୍ ଗ୍ୟାସମାନଙ୍କର p^6 ସଜ୍ଜା ବିଶେଷ ଭାବରେ ଅଧିକ ଆୟନୀକରଣ ବିଭବ ଦେଇଥାଏ । ଆଲ୍‌କାଲିମାନଙ୍କର ଧର୍ମ ଯେ



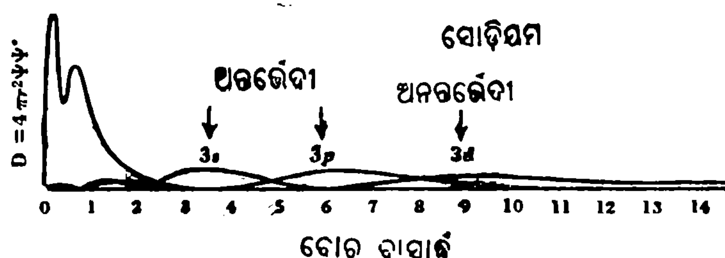
[ଚିତ୍ର ୧୬.୩ ପାରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟାର ଫଳନ ଭାବରେ ଆୟନୀକରଣ ଶକ୍ତି (ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଭୋଲ୍‌ଟରେ)⋯]

ଗୋଟିଏ ନୂଆ କୋଷରେ ଗୋଟିଏ S ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ରହିବା, ଏହା ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ସ୍ତରରେ ଅଳ୍ପ ଆୟନୀକରଣ ଶକ୍ତି ଦେଇଥାଏ ।

15·6 ଅନ୍ତର୍ଭେଦୀ କକ୍ଷ :

ଗୋଟିଏ ବହୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପରମାଣୁରେ କୌଣସି ଦତ୍ତ ପ୍ରଧାନ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା n ପାଇଁ ଅଧିକ କୌଣିକ ସଂବେଗ (ଅଧିକ l) ବିଶିଷ୍ଟ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ସ୍ୱଳ୍ପ କୌଣିକ ସଂବେଗ ବିଶିଷ୍ଟ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକର ଉପରକୁ କାହିଁକି ରହେ, ଆମେ ସେ ପ୍ରଶ୍ନର ବର୍ତ୍ତମାନ ବିଚାର କରିବା । କଥାଟିକୁ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ କରିନେବା ପାଇଁ ଆମେ ସୋଡ଼ିୟମ ପରମାଣୁ (Z=11) କଥା ବିଚାର କରିବା । ଏହାର $n=1$ ଓ $n=2$ରେ ସମସ୍ତ ସମ୍ଭାବ୍ୟ ଅବସ୍ଥା ଦଶଗୋଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଦ୍ୱାରା ପୂର୍ଣ୍ଣ ହୁଏ । ଏହି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ଚାରିପଟେ ଗୋଲକାକାରରେ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ଋଣ ବାଦଲ ସୃଷ୍ଟି କରେ, ଏହା ଫଳରେ ଏକାଦଶ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ଯେଉଁ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଗତି କରେ ତାହାର ପରିମାଣ କାର୍ଯ୍ୟତଃ କମିଯାଏ । r ଓ $r+dr$ ମଧ୍ୟରେ 10ଟି ଭିତର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନରୁ ଗୋଟିଏ ପାଇବାର ସମ୍ଭାବନା ଚିତ୍ର ୧୫·୪ରେ କଳା କରାଯାଇ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ସେହି ଚିତ୍ରରେ ଏକାଦଶ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ 3s, 3p ଓ 3d ଅବସ୍ଥାରେ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଯାନ୍ତ୍ରିକ ହିସାବ ଅନୁସାରେ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧୀୟ ଋଣ ସାନ୍ଦ୍ରତା $4\pi r^2\psi^*\psi$ ଦେଖାଇ ଦିଆ ଯାଇଅଛି । ଅଭ୍ୟନ୍ତରରେ ଗୋଟିଏ 3d ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇବାର ସମ୍ଭାବନା ଅତ୍ୟନ୍ତ କମ୍; ଗୋଟିଏ 3p ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ ଏହି ସମ୍ଭାବନା ତା ଅପେକ୍ଷା ଅଧିକ; ଗୋଟିଏ 3s ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ ଏହା ଆହୁରି ଅଧିକ । ଏହା ସ୍ପଷ୍ଟ ଯେ ଅନ୍ତ୍ୟାନ୍ତରସ୍ଥ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ଋଣ ପରିମାଣ କାର୍ଯ୍ୟତଃ ଏକ ବାହ୍ୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ ଏହି ପରିମାଣ ଅପେକ୍ଷା ଅଧିକ (ଏହାର ପରିମାଣ ବାହ୍ୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ $Z_{eff}=1$) । ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ପୁରାପୁରି ଅଧିକ କ୍ଷେତ୍ର ମଧ୍ୟରେ ଥିଲେ, ଏହାର ଶକ୍ତି କମ୍ ହେବା ଆଶା କରାଯିବ । ଏପ୍ରକାର ଏକ ଯୁକ୍ତି ଏକବାରେକ୍ ସିଦ୍ଧାନ୍ତ ଦେଉନାହିଁ,କାରଣ ଗାଣିତିକ ତତ୍ତ୍ୱରେ ଅନନ୍ତଠାରେ ସୀମାସର୍ତ୍ତ ଦ୍ୱାରା ନିୟନ୍ତ୍ରିତ ହେବ । ଆମେ ମନେ ରଖିବା ଯେ, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ଅଭ୍ୟନ୍ତରକୁ ଭେଦ କରିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ, ଏହାର ମୋଟ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ କମିଯାଏନାହିଁ; କିନ୍ତୁ ଏହାର ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ଗତିଜ ଶକ୍ତିରେ ପରିଣତ ହୁଏ । ତେବେ ଗୋଟିଏ

$\frac{Ze^2}{4\pi \epsilon_0 r^2}$ ସଂଖ୍ୟା ବିଶିଷ୍ଟ କୁଲମ୍ବ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଏକ ଏକକ ଚାର୍ଜ ବିଶିଷ୍ଟ କୁଲମ୍ବ କ୍ଷେତ୍ର ତୁଳନାରେ Z^2 ଗୁଣକ ଦ୍ୱାରା ଅନୁରୂପ ଅବସ୍ଥାରେ ଶକ୍ତି କମିଯିବ । ତେଣୁ ଅଭ୍ୟନ୍ତର ମଧ୍ୟକୁ ଯେତେ ଯେତେ ଭେଦ କରିଯିବ, ଶକ୍ତିସ୍ତର ସେହି ପରିମାଣରେ କମି କମିଯିବ ବୋଲି କହିବା ଅଯୌକ୍ତିକ ନୁହେଁ । ଏହା ଠିକ୍ ବୋଲି ପୁଙ୍ଖାନୁପୁଙ୍ଖ କ୍ୱାଣ୍ଟମ-ଯାନ୍ତ୍ରିକ ହିସାବରୁ ଜଣାଯାଏ: ଏହାଛଡ଼ା ପାରମାଣବିକ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରୋସ୍କୋପୀରୁ ମିଳୁଥିବା ସମସ୍ତ ପ୍ରମାଣରୁ ଏହା ସତ୍ୟ ବୋଲି ଜଣାଯାଏ ।



[ଚିତ୍ର ୧୫'୪ ସୂଚମ ସୋଡ଼ିୟମ ପରମାଣୁରେ ସଂଯୋଜକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ ତିନୋଟି ଭିନ୍ନ ଅବସ୍ଥାରେ (3s, 3p, 3d) ହିସାବରୁ ମିଳିଥିବା ଚାର୍ଜ ସାନ୍ଦ୍ରତା; ଅଭ୍ୟନ୍ତର ପାଇଁ ହେଉଥିବା ସାନ୍ଦ୍ରତାକୁ କଳା କରି ଦେଖାଯାଇଅଛି ।]

S ଓ *P* ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ଅନ୍ତର୍ଭେଦୀ କକ୍ଷ ଭାବରେ କହିବା ପ୍ରଚଳିତ ପ୍ରଥା । ଏହି ଶବ୍ଦ ବୋର୍ ତତ୍ତ୍ୱକୁ ସମରଫିଲ୍ଡ଼ ପ୍ରସାର କରି ଡିମ୍ବାକାର କକ୍ଷ ଧାରଣା ଦେବାକାଳରୁ ଚଳି ଆସୁଅଛି । ଆଧୁନିକ ତରଙ୍ଗ-ଯାନ୍ତ୍ରିକୀରେ ସୁସ୍ପଷ୍ଟ କକ୍ଷର ଧାରଣା ଗ୍ରହଣୀୟ ନହେଲେ ମଧ୍ୟ, ସମରଫିଲ୍ଡ଼ଙ୍କ ମଡ଼େଲର ଭାଷା ସର୍ବତ୍ର ବ୍ୟବହୃତ ହେଉଅଛି । ଦତ୍ତ n ଅବସ୍ଥା ଗୁଡ଼ିକରେ କ୍ଷୁଦ୍ରତମ l ନ୍ୟୂନତମ ସ୍ଥାନରେ ରହିବା ଯେ ଏହି ଅନ୍ତର୍ଭେଦୀ କକ୍ଷର ପ୍ରଭାବ ବୁଝାଇପାରେ ତାନୁହେଁ, ଗୋଟିଏ ଅଧିକ n କୋଣର ସ୍ୱଳ୍ପ-କୌଣିକ ସଂବେଗଯୁକ୍ତ ଅବସ୍ଥାର ଶକ୍ତି ଗୋଟିଏ ସ୍ୱଳ୍ପ n କୋଣର ଉଚ୍ଚ-କୌଣିକ-ସଂବେଗଯୁକ୍ତ ଅବସ୍ଥାଠାରୁ

କାହିଁକି ଅଧିକ ହେବ, ତାହା ମଧ୍ୟ ବୁଝାଇବାକୁ ସହଜ ହୋଇଥାଏ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ଆମେ ଦେଖିଥାଉଁ ଯେ ପଟାସିୟମ୍ ପାଇଁ 4*s* ଅବସ୍ଥା 3*d* ଅବସ୍ଥା ତଳକୁ ରହିଥାଏ । ସେହିପରି ରୁବିଡ଼ିୟମ୍ ପାଇଁ 5*s* ଅବସ୍ଥା 4*d* ଅବସ୍ଥା ତଳକୁ ରହିଥାଏ; ସିସିୟମ ପାଇଁ 6*s* ଅବସ୍ଥା 5*d* ଓ 4*f* ଅବସ୍ଥା ତଳକୁ ରହିଥାଏ ।

ଆମେ ଦେଖିଥାଉଁ ଯେ ପଟାସିୟମ (Z = 19) ପାଇଁ 4s ସ୍ତର 3*d*ର ତଳକୁ ରହିଥାଏ । ଅନ୍ୟ ପକ୍ଷରେ, ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପାଇଁ *n* = 4 ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ସବୁ *n* = 3 ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକର ଉପରକୁ ରହିଥାଏ । *l* ଉପରେ ନିର୍ଭରଶୀଳ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ଅତ୍ୟନ୍ତ କମ୍ ଓ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣରୂପେ ଅନ୍ୟ କାରଣରୁ ଉଦ୍ଭବ ହୋଇଥାଏ । Z = 2ରୁ Z = 5 ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କ ପାଇଁ 3*d* ସ୍ତର 4s ସ୍ତର ତଳକୁ ରହିଥାଏ, କିନ୍ତୁ କାର୍ବନ ପାଖରେ (Z = 6) ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଅନ୍ତର୍ଭୁକ୍ତ ଏତେ ବଢ଼ିଯାଇଥାଏ ଯେ, 4s ସ୍ତର 3*d* ସ୍ତର ତଳକୁ ଆସିଯାଏ । ସେଠାରୁ କ୍ରୋମିୟମ (Z = 24) ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ 4s ସ୍ତର ତଳକୁ ରହେ, କିନ୍ତୁ କ୍ରୋମିୟମ୍‌ଠାରେ (Z = 24) ଦୁହେଁ ପ୍ରାୟ ମିଳିଯାଇଥାନ୍ତି ଏବଂ 4s ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଦୁଇଟିରୁ ଗୋଟିଏ 3*d* ଅବସ୍ଥାକୁ ଚାଲିଯାଏ; ତେଣୁ 3*d*[5] 4s ବିନ୍ୟାସ ମିଳିଥାଏ । ମାଙ୍ଗାନିଜ (Z = 25) ପାଇଁ ଓ ନିକେଲ (Z = 28) ଦେଇ ଅଗକୁ 4sସ୍ତର 3*d* ତଳକୁ ରହିଯାଏ, କିନ୍ତୁ କପର (Z = 29)ଠାରେ 3*d* ଅବସ୍ଥା 4s ଅବସ୍ଥା ତଳକୁ ଚାଲିଯାଏ ଓ ପିରିଅଡ଼ିକ୍ ଟେବୁଲର ଅବଶିଷ୍ଟାଂଶରେ ସେହିଠାରେ ରହେ । 5s ଓ 4*d* ସ୍ତରମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଏହିପରି ଡିଆଁ ଡେଇଁ ହୋଇଥାଏ; 6s, 5*d* ଓ 4*f* ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ ମଧ୍ୟ ସେହିପରି ଦେଖାଯାଏ ।

15·7 ନିମ୍ନସ୍ଥ ଶକ୍ତି ଅବସ୍ଥା :

ପିରିଅଡ଼ିକ ଟେବୁଲ୍ କଥା ବିଚାର କଲାବେଳେ ଆମେ ଅନୁମାନ କରିଥାଉଁ ଯେ ଗୋଟିଏ ସୂକ୍ଷ୍ମ ଗୁରୁ ପରମାଣୁରେ ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ *n* = 1 ଦ୍ୱାରା, 8ଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ *n* = 2 ଦ୍ୱାରା, 18ଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ *n* = 3 ଦ୍ୱାରା ଇତ୍ୟାଦି ଇତ୍ୟାଦି ସୂଚିତ ହୋଇଥାନ୍ତି । ଆଉ ମଧ୍ୟ ଆମେ ଅନୁମାନ କରିଛୁ ଯେ, ପ୍ରତ୍ୟେକ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ଶକ୍ତି ଅବସ୍ଥାରେ ରହିଛନ୍ତି ଓ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ତରଙ୍ଗ ଫଳନକୁ ସନ୍ତୁଷ୍ଟ କରନ୍ତି; ଏହି ଫଳନ

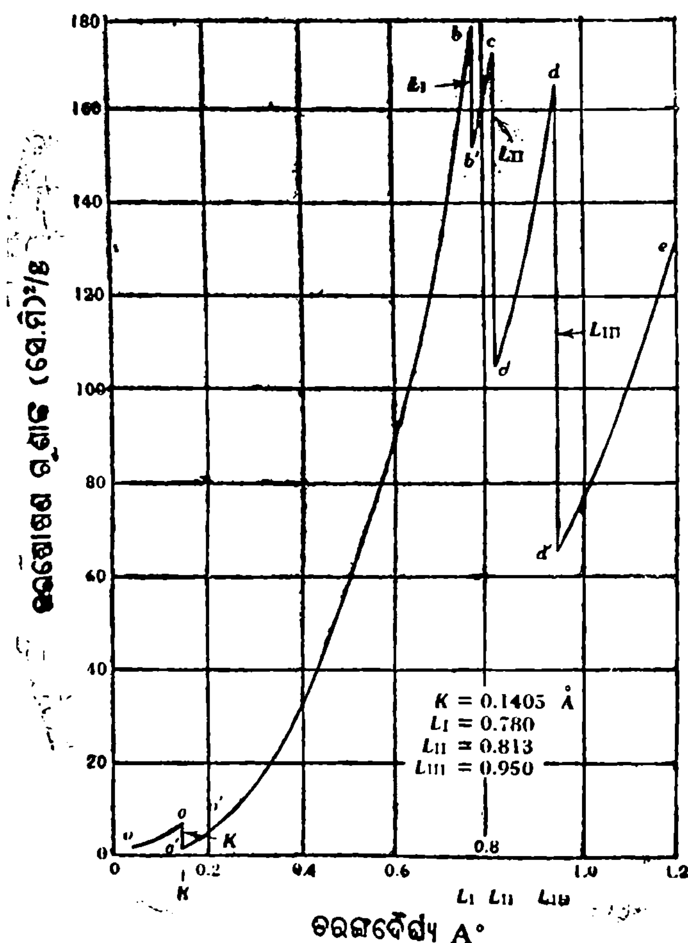
ଗୁଡ଼ିକ ସ୍ଥୂଳଭାବରେ ହାଇଡ୍ରୋଜେନୀୟ ଶକ୍ତି ଓ ψ_{nlm_l} ର ଅନୁରୂପ । ଏହି ଅନୁମାନ-ଗୁଡ଼ିକର ସତ୍ୟାସତ୍ୟ ସିଧାସଳଖ ଭାବରେ ଏକ୍ସରେ ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକରୁ ପ୍ରମାଣିତ ହୋଇଥାଏ । ଏକ୍ସରେର ବସ୍ତୁମାନଙ୍କରେ ଶୋଷଣରୁ ଆମେ ଏହି ଆଲୋଚନା ଆରମ୍ଭ କରିବା । ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର ଦୃଶ୍ୟମାନ ଓ ତା'ର ନିକଟସ୍ଥ ଅଞ୍ଚଳରେ ଅନେକର ଶୋଷଣ ଘଟଣା ଗୋଳମାଳିଆ ପରି ପ୍ରତୀତ ହୋଇଥାଏ । ମାତ୍ର ଏକ୍ସରେ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଠିକ୍ ଓଲଟା । ଏକ୍ସରେର ଶୋଷଣ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ନିୟମ ଅପେକ୍ଷାକୃତ ସରଳ । ସମାନ୍ତରାଳ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛଟିଏ ଏକରଙ୍ଗୀ ହୋଇଥିଲେ, ତା'ର ଶୋଷଣାଙ୍କର ପରିମାପ ଆୟନନ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରୋମିଟର (ଚିତ୍ର ୨'୭) ସହିତ ଦ୍ୱିତୀୟ କୋଟୀର ପ୍ରତିଫଳନ ସବୁ ଦୂର କରି ପରେ ସ୍ଥିର ବେଭ ବିଶିଷ୍ଟ ଡିଭାଇସିଏ ନେଇ ସହଜରେ କରାଯାଇପାରିବ । ଗୋଟିଏ ଦତ୍ତ ସ୍ଥିତିର କୋଣ θ ଓ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ λ ପାଇଁ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛର ପଥରେ, କହ S_1 ଓ S_2 ଛିଦ୍ର ମଧ୍ୟରେ, ଥରେ ρ ସାନ୍ଦ୍ରତା ଓ x ବେଧ ବିଶିଷ୍ଟ ଶୋଷଣକାରୀ ବସ୍ତୁ ଖଣ୍ଡିଏ ରଖି ଏବଂ ଏହାକୁ ନ ରଖି ଆୟନନ ସ୍ରୋତ ମାପ କରାଯାଇପାରିବ । ଏହି ପରିମାପ ଯଥାକ୍ରମେ ସମୀକରଣର I ଓ I_o ଦେବ,

$$I = I_o e^{-\mu_x} = I_o e^{-(\mu/\rho)\rho x} \quad \cdot(୧୫'୨)$$

ଏଥିରୁ ସରଳ ଶୋଷଣାଙ୍କ ବା ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଶୋଷଣାଙ୍କ μ/ρ ହିସାବ କରି ହେବ । ଚିତ୍ର ୧୫'୫ରେ ଲେଡ଼ର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଶୋଷଣାଙ୍କ $0{\cdot}1 < \lambda < 1{\cdot}2$A° ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ଗଣସର ମଧ୍ୟରେ ଦିଆଯାଇଅଛି । ବିନ୍ଦୁ 0 ଠାରୁ ଆରମ୍ଭ କରି ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ μ/ρ ଅତି ଶୀଘ୍ର ଶୀଘ୍ର ବଢ଼ିଯାଏ, ଗୋଟିଏ ବିନ୍ଦୁ a, $\lambda = 0{\cdot}1405$ A° ଓ $\mu/\rho = 8$ (ପ୍ରାୟ) ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଏହିପରି ବୃଦ୍ଧି ହୋଇଥାଏ । ଏହି ବିନ୍ଦୁଠାରେ ହଠାତ୍ μ/ρର ମୂଲ୍ୟ a' ବିନ୍ଦୁକୁ ଖସିଯାଏ । ଏହାହିଁ K ଶୋଷଣର ସୀମା, ଏହାକୁ ଆମେ $n = 1$ ବା K କୋଷରୁ ଅଲୋକ ବହିଂତ ନିଷ୍କାସନ ସହ ସଂଯୁକ୍ତ କରୁ । K ଶୋଷଣସୀମାଠାରୁ କମ୍ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ଫୋଟନ K କୋଷରୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ନିଷ୍କାସନ କରିବାକୁ କ୍ଷମ ଓ କାର୍ଯ୍ୟତଃ ତାହା ହୋଇଥାଏ । ଏହାଠାରୁ ଅଧିକ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ଫୋଟନମାନଙ୍କର K ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ନିଷ୍କାସନ କରିବାପାଇଁ ଯଥେଷ୍ଟ ଶକ୍ତି ନଥାଏ । ଯେଉଁ K ଶୋଷଣସୀମା ପରମାଣୁରେ K ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ କେନ୍ଦ୍ର ଶକ୍ତିରେ ବାନ୍ଧି ହୋଇ ରହିଅଛି, ତା'ର ଏକ

ପରିମାଣ ହୋଇଥାଏ । ଲେଡ଼୍‌ରେ K ଶୋଷଣ ସୀମାର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ λ_k ହେଲା $0{\cdot}1405\text{A}^\circ$ ଓ ଅନୁରୂପ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ହେଲା $E_k = hc/\lambda = 88{,}000eV$ ।

ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟରେ ଅଧିକ ବୃଦ୍ଧି ହେଲେ ଶୋଷଣ ପୁଣି ଅତି ଶୀଘ୍ର ବଢ଼ି ବଢ଼ି ଯାଏ, ବିଶେଷତଃ L କୋଷରୁ ($n = 2$) ଇଲେକଟ୍ରନ ନିଷ୍କାସନ ଫଳରେ ଏହା ଘଟିଥାଏ, ପୁଣି $\lambda = 0{\cdot}780\text{A}^\circ$ ଠାରେ ହଠାତ୍ ତଳକୁ ଖସିଯାଏ । ଅଳ୍ପ ବୃଦ୍ଧି ପରେ $0{\cdot}813\text{A}^\circ$



[ଚିତ୍ର ୧୫.୫ ଲେଡ଼ର K ଓ L ଶୋଷଣ ସୀମା]

ଠାରେ ଶୋଷଣ ସୀମା ଦେଖାଯାଏ, ତୃତୀୟଟି $0{\cdot}950A°$ ଠାରେ ମିଳିଥାଏ । ଏହି ତନୋଟି ବଚ୍ଛିନ୍ନତା ଯଥାକ୍ରମେ ଶୋଷଣ ସୀମା L_I, L_{II} ଓ L_{III} ସବରେ ପରିଚିତ । ଏମାନେ ଦେଖାଉଛନ୍ତି ଯେ, L ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ତନୋଟି ସ୍ଵତନ୍ତ୍ର ଶକ୍ତି ଅବସ୍ଥା ରହିଅଛି । ଆମେ ପର ଅନୁଚ୍ଛେଦରେ ଦେଖିବା ଯେ ଦୁଇ ବାଉନ୍ଧ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଦୁଇଟି 2P ଅବସ୍ଥା ରହିଅଛି ।

L_{III} ବଚ୍ଛିନ୍ନତା ପରେ ଶୋଷଣ ପୁଣି ଦ୍ରୁତ ହାରରେ ବଢ଼ିଯାଏ । e ବନ୍ଦୁର ୯ରେ ଚିତ୍ର ୧୪·୫ ପ୍ରସାରରୁ ଜଣାଯିବ ଯେ, $3{\cdot}2<\lambda<5-0A°$ ଅଞ୍ଚଳରେ 5ଟି ସ୍ପଷ୍ଟର ଗୋଟିଏ ଦଳ ମିଳିଥାଏ,,ଏଗୁଡ଼ିକ M_I , M_{II}, M_{III} , M_{IV} ଓ M_V ଶୋଷଣ ସୀମାଗୁଡ଼ିକ ସୂଚାଇଥାଏ । ଏହି ସ୍ପଷ୍ଟଗୁଡ଼ିକର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ m ($n=3$) ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ-ମାନଙ୍କ ପାଇଁ ମିଳୁଥିବା ପାଞ୍ଚଟି ବିଶେଷ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ଦେଇଥାଏ । 14A°ରୁ ଆରମ୍ଭ କରି $n=4$ କୋଷ ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ 7ଟି N ସୀମା ମିଳିଥାଏ; ଏହାଠାରୁ ଅଧିକ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟରେ 0 ($n=5$) ଓ P ($n=6$) ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକର ସୀମା ମିଳେ ।

Z‹10 ବିଶିଷ୍ଟ ସମସ୍ତ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥର ଗୋଟିଏ K ଶୋଷଣ ରେଖା ଓ ତନୋଟି L ବଚ୍ଛିନ୍ନତା ମିଳେ; $n=3$ କୋଷ ପାଇଁ ପୁଣି 5ଟି M ସୀମା ମିଳିଥାଏ, ଏହିପରି ସ୍ଥଳେ । ତେଣୁ ଏକ୍ସରେ ଶୋଷଣ ବିନ୍ୟାସ ସମସ୍ତ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ ପାଇଁ ସମାନ, ଗୋଟିଏ ସୀମା କେତେ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟଠାରେ ଦେଖାଯିବ, ତାହା z ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ କମି ଯାଇଥାଏ । $n=2$ ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ ହୋଇ ଯେ ତନୋଟି ଦଳର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଅଛନ୍ତି, ଏହି ଘଟଣା ସମସ୍ତ $2s$ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଙ୍କର ଏକା ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ଓ ସମସ୍ତ $2p$ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଙ୍କର ଅନ୍ୟ ଏ ଶକ୍ତି ବୋଲି କହିଲେ, ତା ସହିତ ଖାପ ଖାଇବ ନାହିଁ । ସେହିପରି $n=3$ ପାଇଁ, ଆମେ ପାଇବା $l=0$, 1 ଓ 2; କିନ୍ତୁ 5ଟି ବିଶେଷ m ଶକ୍ତି ମିଳୁଅଛି ଏବଂ $n=4$ ପାଇଁ ଅମେ 7ଟି ଶକ୍ତି ପାଇବା । ଏହା $l=0$, 1, 2, 3ରୁ ସୂଚନା ମିଳୁଥିବା ସଂଖ୍ୟାରୁ ଅଧିକ । ଅଧିକା ଶକ୍ତି ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକର ଅବସ୍ଥିତ ବୁଝାଇବା ପାଇଁ ଏକା n ଓ l ଥାଇ ବିଭିନ୍ନ j (ଅନୁ: ୧୪.୬ ଓ ୧୪.୭) ଲଗ ହୋଇଥିବା ଶକ୍ତି ସ୍ତରର ବଣ୍ଟନ ବିସ୍ତାରକୁ ନେବାକୁ ହେବ । ସମୀକରଣ (୧୪·୨୪) ଏକସଙ୍ଗେ ସ୍ତରମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ଭଲ ଅସନ୍ନ ଦେବ, ଏଥିରେ ଅବଶ୍ୟ ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ

ପାଇଁ ଘଟୁଥିବା ଆବରଣର ଫଳାଫଳ ବିସ୍ତାରକୁ ନେଇ ଫଳପ୍ରଦ z ବ୍ୟବହାର କରିବାକୁ ହେବ ।

15·8 ଏକ୍ସରେ ଶକ୍ତି ସ୍ତର :

ଦୃଶ୍ୟିନ କକ୍ଷୀୟ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଦ୍ୱାରା ଏକ୍ସରେ ଶୋଷଣ ସୀମାଗୁଡ଼ିକର ପ୍ରକାର ଓ ସଂଖ୍ୟା ବୁଝାଇବା ବର୍ତ୍ତମାନ ସମ୍ଭବ । k ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପାଇଁ $l=0$, ତେଣୁ ଏମାନଙ୍କର କୌଣସି କକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗ ନାହିଁ ଓ ସେହି କାରଣରୁ କୌଣସି ଦୃଶ୍ୟିନ କକ୍ଷୀୟ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଘଟୁନାହିଁ । j ର ଏକମାତ୍ର ଅନୁମତିକ ମୂଲ୍ୟ ହେଲା $\frac{1}{2}$ । ତେଣୁ ଆମେ ଗୋଟିଏ ମାତ୍ର K ସ୍ତର ପାଉ । L କୋଷ ($n=2$) ପାଇଁ $l=0$ ପାଇଁ ଏକମାତ୍ର ସମ୍ଭାବନା $j=\frac{1}{2}$, $l=1$ ପାଇଁ ସମ୍ଭାବନାଗୁଡ଼ିକ ହେଲା $j=\frac{1}{2}$, ଓ $j=\frac{3}{2}$ । ଆମେ ଦେଖୁଛେ, ଯଦି ଆମେ ଅନୁମାନ କରିବା ଯେ, L_I ଶୋଷଣ ବିଚ୍ଛିନ୍ନତା $l=0$, $j=\frac{1}{2}$ ଅବସ୍ଥା ସହିତ, L_{II} ସୀମା $l=1$, $j=\frac{1}{2}$ ସହିତ ଓ L_{III} ସୀମା $l=1$, $j=\frac{3}{2}$ ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ । l_1 ସ୍ତର ପାଇଁ m_j ଟି $\pm\frac{1}{2}$ ହୋଇପାରେ, ଏହି ଅବସ୍ଥାରେ ତେଣୁ ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ରହିବେ । L_{II} ସ୍ତର ପାଇଁ $m_j=\pm\frac{1}{2}$ ଓ ପୁଣି ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ରହିବେ । L_{III} ସ୍ତରର $j=\frac{3}{2}$, ତେଣୁ m_j ଟି $\frac{3}{2}, \frac{1}{2}, -\frac{1}{2}$ ବା $-\frac{3}{2}$ ଏହିପରି ଚାରୋଟି ସମ୍ଭାବନା ରହୁଅଛି । ତେଣୁ n l j m_j ବର୍ଣ୍ଣନାରେ, ଗୋଟିଏ ପୂର୍ଣ୍ଣ ହୋଇଥିବା L ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷରେ L_I ବା L_{II} ଅବସ୍ଥାରେ ଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କଠାରୁ ଦୁଇଗୁଣ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ L_{III} ସ୍ତରରେ ରହେ । ଦୁଇଟି ସ୍ଥାନରେ ଚାରୋଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହେଉଥିବାରୁ ଏଠାରେ ଶୋଷଣାଙ୍କରେ ଅଧିକ ପତନ ହେବ ବୋଲି ଆଶା କରାଯାଇପାରେ; ଚିତ୍ର ୧୫·୫ରେ ପ୍ରକୃତରେ ତାହାହିଁ ଦେଖାଯାଇଥାଏ ।

ଯେତେବେଳେ ଦୃଶ୍ୟିନ-କକ୍ଷୀୟ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ବିସ୍ତାରକୁ ନିଆଗଲା, ପ୍ରତି nl ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷ ଦୁଇଟି nlj ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷରେ ଭାଙ୍ଗିଯାଇଛି ବୋଲି ବିସ୍ତାର କରିବା ସରଳ । ଏଥିରୁ ପ୍ରତ୍ୟେକରେ ଥିବା ସମସ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଙ୍କର n, l ଓ j ମୂଲ୍ୟ ସମାନ । ବିଦ୍ୟୁତ ବା ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ର ନ ଥିଲେ ଗୋଟିଏ ଦତ୍ତ ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷ n l jରେ ଥିବା ସମସ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଙ୍କର ସମାନ ଶକ୍ତି ହେବ । ପ୍ରତି ପୂର୍ଣ୍ଣ ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷରେ $2j+1$ ସଂଖ୍ୟକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଥାଏ,

ପ୍ରତି *mj* ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ଲେଖାଏଁ ଟେବୁଲ୍ ୧୫.୨ ଭିନ୍ନ ଅନ୍ତଃସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷ ପାଇଁ ସଙ୍କେତ ସବୁ ଦର୍ଶାଯାଇଅଛି, ପ୍ରତ୍ୟେକରେ ରହିପାରୁଥିବା ସର୍ବାଧିକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସଂଖ୍ୟା ମଧ୍ୟ ଦିଆଯାଇଅଛି ।

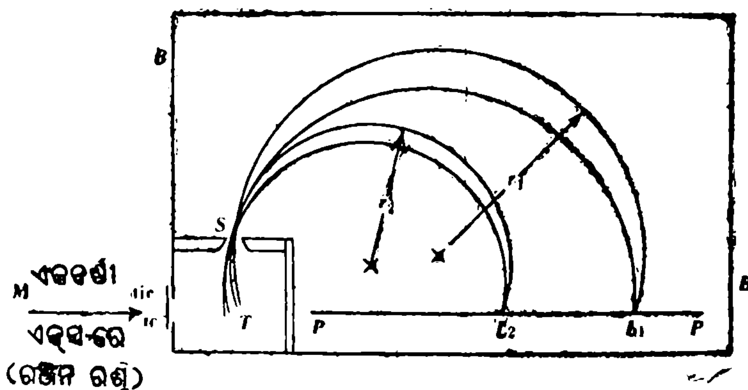
ଟେବୁଲ ୧୫.୨ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ କୋଷ, ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷ ଓ ଏକ୍ସରେ ସ୍ତରମାନଙ୍କ ପାଇଁ ସଙ୍କେତ

ନାମ	କୋଷ		ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷ			ସଙ୍କେତ	
	n	ସର୍ବାଧିକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସଂଖ୍ୟା	l	j	ସର୍ବାଧିକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସଂଖ୍ୟା	ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରୋସ୍କୋପିକ୍	ଏକ୍ସରେ
K	1	2	0	$\frac{1}{2}$	2	1s	K
			0	$\frac{1}{2}$	2	2s	L_I
L	2	8	1	$\frac{1}{2}$	2	$2p_{\frac{1}{2}}$	L_{II}
			1	$\frac{3}{2}$	4	$2p_{\frac{1}{2}}$	L_{III}
			0	$\frac{1}{2}$	2	3s	M_I
M	3	18	1	$\frac{1}{2}$	2	$3p_{\frac{1}{2}}$	M_{II}
			1	$\frac{3}{2}$	4	$3p_{\frac{1}{2}}$	M_{III}
			2	$\frac{3}{2}$	4	$3d_{\frac{3}{2}}$	M_{IV}
			2	$\frac{5}{2}$	6	$3d_{\frac{5}{2}}$	M_V
			0	$\frac{1}{2}$	2	4s	N_I
N	4	32	1	$\frac{1}{2}$	2	$4p_{\frac{1}{2}}$	N_{II}
			1	$\frac{3}{2}$	4	$4p_{\frac{1}{2}}$	N_{III}
			2	$\frac{3}{2}$	4	$4p_{\frac{1}{2}}$	N_{IV}
			2	$\frac{5}{2}$	6	$4d_{\frac{5}{2}}$	N_V
			3	$\frac{5}{2}$	6	$4d_{\frac{5}{2}}$	N_{VI}
			3	$\frac{7}{2}$	8	$4f_{\frac{5}{2}}$	N_{VII}
						$4f_{\frac{7}{2}}$	$O_I - O_{IX}$
O	5	Never full	0-4	$\frac{1}{2} - \frac{9}{2}$			$P_I \cdots\cdots$
P	6	Never full	0-5	$\frac{1}{2} - 1.$			

15·3 ଏକ୍ସରେ ଦ୍ୱାରା ନିଷ୍କାସିତ ଆଲୋକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ :

$h\nu$ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଫୋଟନ ଦ୍ୱାରା ଯେତେବେଳେ K କୋଷରୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ନିଷ୍କାସିତ ହୁଏ, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପରମାଣୁରୁ $h\nu - h\nu_k$ ଗତିଜ ଶକ୍ତି ନେଇ ବାହାରି ଯାଇଥାଏ; ଏଠାରେ ν_k ହେଲା K ଶୋଷଣ ସୀମାର ଆବୃତ୍ତି । ଯଦି ପରମାଣୁଟି ଶୋଷଣକାରୀ ବସ୍ତୁର ପୃଷ୍ଠଦେଶରେ ରହିଥାଏ, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ବାହାରକୁ ଏତିକି ଗତିଜ ଶକ୍ତିରେ ବାହାରି ଯାଇପାରେ । L କୋଷରୁ ନିଷ୍କାସିତ ଆଲୋକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ ସେହିପରି ଯୁକ୍ତି କରାଯାଇପାରେ । ଏଥିରେ L ଶୋଷଣ ସୀମାଗୁଡ଼ିକର (νL_I, νL_{II}, νL_{III}) ଅନୁରୂପ ଗତିଜ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ସାମାନ୍ୟ ଭିନ୍ନ ଦଳଗୁଡ଼ିକ ଅନ୍ତର୍ଭୁକ୍ତ । ସେହି ପ୍ରକାରରେ M କୋଷରୁ 5ଟି ଦଳ ମିଳିବ ଓ ଏହିପରି ଚାଲିବ । ଯଦି ଆମେ ବହୁତ ଅଧିକ ଆବୃତ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଏକ୍ସରେରୁ ଆରମ୍ଭ କରୁ ସବୁ ପ୍ରକାରର ଆଲୋକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଉତ୍ପନ୍ନ ହେବ । ଯଦି ଆବୃତ୍ତି କମାଇ ଦିଆଯାଏ, ଏହା ν_k ଡେଇଁଯିବା ପରେ K ଆଲୋକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଲୋପ ପାଇଯିବ; L ସୀମାଗୁଡ଼ିକ ଟପିଯିବା ପରେ କ୍ରମରେ ଉନୋଟିଯାକ L ଆଲୋକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଲୋପ ପାଇଯିବ ଓ ଏହିପରି ଘଟି ଯାଉଥିବ ।

ଏହି ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକ ଦର୍ଶାଇବା ଲାଗି ପରୀକ୍ଷାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ରବିନ୍‌ସନ ଓ ତାଙ୍କର ସହଯୋଗୀମାନଙ୍କର ପରୀକ୍ଷା ଅନ୍ତର୍ଭୁକ୍ତ । ଚିତ୍ର ୧୫·୬ରେ ସେମାନଙ୍କର ଯନ୍ତ୍ରପାତି



[ଚିତ୍ର ୧୫·୬ ଏକ୍ସରେର ଆଲୋକବିଦ୍ୟୁତ୍‌କ୍ରିୟା ପରୀକ୍ଷା କରିବା ପାଇଁ ରବିନ୍‌ସନଙ୍କର ଚୁମ୍ବକୀୟ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରୋଗ୍ରାଫ]

ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ν ଆବୃତ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ଏକ୍ସରେ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ଗୋଟିଏ ଛିଦ୍ର W ବାଟେ ବହୁ ପରିମାଣରେ ଶୂନ୍ୟ ହୋଇଥିବା ଗୋଟିଏ ବ୍ରାସ୍ ବାକ୍ସ BB ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରବେଶ କରେ । ତାପରେ ଏହା ପରୀକ୍ଷା ଲାଗିଥିବା ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁ T ଉପରେ ପଡ଼େ । Tର ପୃଷ୍ଠଦେଶରୁ ଆଲୋକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସବୁ ବିଭିନ୍ନ ଗତିବେଗରେ ସବୁ ଦିଗକୁ ନିଷ୍କାସିତ ହୋଇଥାଏ । ଏ ସମସ୍ତ ଯନ୍ତ୍ରପାତି କାଗଜକୁ ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ରହିଥାଏ । ଏହି ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରର ପରିମାଣ ମନଇଚ୍ଛା ବଦଳାଇ ହେବ । ଆଲୋକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଏହି କ୍ଷେତ୍ରରେ ବୃତ୍ତାକାରରେ ଗତି କରିବେ । ସେମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ କେତେକ ଗୋଟିଏ ସରୁ ଛିଦ୍ର S ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଯାଆନ୍ତି, ତେଣୁ ଆଲୋକ ବିଦ୍ୟୁତ ପରଦା PPକୁ ଆଘାତ କରନ୍ତି । ଯଦି Tକୁ ଛାଡ଼ି ଯାଉଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକର ଗତିବେଗ ν_1, ν_2,······ହୁଏ, ସେମାନେ r_1, r_2···· ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ବିଶିଷ୍ଟ ବୃତ୍ତମାନଙ୍କରେ ଗତି କରିବେ ଏବଂ ପରଦାକୁ L_1, L_2,·· ବିନ୍ଦୁମାନଙ୍କରେ ଆଘାତ କରିବେ । ଚିତ୍ରରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି ଯେ, Tରୁ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ସ୍ଥାନରେ ବାହାରୁଥିବା ଏକା ଗତିବେଗ ବିଶିଷ୍ଟ ଆଲୋକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଏହି ବ୍ୟବସ୍ଥା ଫଳରେ ଗୋଟିଏ ବିନ୍ଦୁରେ ପହଞ୍ଚିବେ, ଏହି ବୃତ୍ତର ବ୍ୟାସ S ଓ L_1 ବା L_2 ବିନ୍ଦୁର ଦୂରତା ହେବ ।

ଆଲୋକଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ଗତିଜ ଶକ୍ତି K, rର ପରିମାପରୁ ହିସାବ କରିଯାଇ ପାରିବ; ଏହାକୁ $h(\nu-\nu_A)$ ସହିତ ତୁଳନା କରିଯାଇ ପାରିବ । ଏଠାରେ ν_A କୌଣସି ଶୋଷଣସୀମା । ରବିନସନ୍ ତାଙ୍କ ପରଦାଗୁଡ଼ିକରେ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ 'ରେଖା' ପାଇଲେ, ଏଗୁଡ଼ିକ ବିଭିନ୍ନ ଦଳର ଆଲୋକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସୂଚାଇଲା । ଷ୍ପେକ୍ଟ୍ରସ୍କୋପିରୁ ମିଳୁଥିବା ବିଭିନ୍ନ ଶୋଷଣସୀମା ସହିତ ଏ ମୂଲ୍ୟଗୁଡ଼ିକ ମିଳିଗଲା । ସେ ଗୋଟିଏ K ସ୍ତର, ତିନୋଟି L ସ୍ତର, ପାଞ୍ଚଟି M ସ୍ତର ଦେଖିଲେ । U^{92} ନେଇ ସାତଟି N ସ୍ତରରୁ ପାଞ୍ଚୋଟି ପାଇଲେ । $N_{IV \cdot V}$ ଓ $N_{VI, VII}$ ଦୁଇହଳ ଏ ଯନ୍ତ୍ରଦ୍ୱାରାରେ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ରଭାବରେ ବାରିହେଲନାହିଁ ।

ଏକ୍ସରେ ଦ୍ୱାରା ନିଷ୍କାସିତ ଆଲୋକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ପରିମାପ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ କୁଶଳତା ଏପରି ଉନ୍ନତ ହେଲଣି ଯେ, ଭୌତିକ ଧ୍ରୁବମାନଙ୍କ ନିରୂପଣ କରିବାରେ ଏ ପ୍ରଣାଳୀ ସବୁ ବିଶ୍ୱାସଯୋଗ୍ୟ ପ୍ରଣାଳୀମାନଙ୍କରେ ସ୍ଥାନ ପାଇଲଣି । ଦ୍ୱିଫୋକସକାରୀ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ

ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରୋମିଟର ଓ ଅନ୍ୟ ଉନ୍ନତ ଯନ୍ତ୍ରପାତି ବ୍ୟବହାର କରି ଆଗରୁ ଦରକାର ଥିବା ଶକ୍ତି ତାରତମ୍ୟର ଏକ ସହସ୍ରାଂଶ ଶକ୍ତି ତାରତମ୍ୟ ଥିଲେ ବୁଝିହେବ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ରଭାବେ ପାଇବା ସମ୍ଭବ ହେଲାଣି । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ହସ୍ତମ୍, ନଡ଼୍ଲାଂଓ ସିବାନ୍ ଦେଖିଲେ ଯେ, କୌଣସି ଉତ୍ପେରଣୀ ପଲଫର୍ରେ K ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଯେତେ ଶକ୍ତିରେ ବାନ୍ଧ ହୋଇଥାଏ, (Na_2SO_4)ରେ ଯଯୁକତର 6+ ଅବସ୍ଥାରେ ତା'ଠାରୁ 5·5eV ଅଧିକରେ ଓ (Na_2SO_3)ରେ 4+ ସଯୋଜକ ଅବସ୍ଥାରେ ତା'ଠାରୁ 4·3eV ଅଧିକରେ ବାନ୍ଧ ହୋଇ ରହିଥାଏ ।

ପରିଶିଷ୍ଟ ୧୫କ—ଅଭେଦ୍ୟ କଣିକା

ବିଶିଷ୍ଟ ଦୁଇଟି ସର୍ବସମ କଣିକାପାଇଁ ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକୀ

ଅନୁ: ୧୩ଂଶରେ ଦିଆଥିବା ବର୍ଗକୂପରେ ଦୁଇଟି ସର୍ବସମ କଣିକା ଥିବାର ଅନୁମାନ କର । ବର୍ତ୍ତମାନ ପାଇଁ ଅନୁମାନ କର ଯେ, ସେମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ନାହିଁ ଓ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ପରି କୌଣସି ଘଟଣା ବସ୍ତୁରକୁ ଆସିବନାହିଁ । x_1 ଓ x_2 ସେ ଦୁହିଁଙ୍କର ସ୍ଥାନାଙ୍କ ହେଉ । ପୁରାତନ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଅନୁସାରେ କଣିକାମାନଙ୍କର ମୋଟ ଗତିଜ ଶକ୍ତି ହେବ $(P_1^2+P_2^2)/2m$, ଏଠାରେ P_1 ଓ P_2 ଯଥାକ୍ରମେ ସେମାନଙ୍କର ସଂବେଗ । ସମୀକରଣ (୧୩.୧୧a)ର ଅପରେଟରର ଏହି ସଂବେଗ ସ୍ଥାନରେ ଲେଖିଲେ, ଆମେ କଣିକା ଦୁଇଟି ପାଇଁ ସମୟ-ମୁକ୍ତ ତରଙ୍ଗ ସମୀକରଣ ପାଇବା

$$-\frac{h^2}{8\pi^2 m}\left(\frac{\partial^2\psi}{\partial x_1^2}+\frac{\partial^2\psi}{\partial x_2^2}\right)=E\psi \qquad (୧୫କ.୧)$$

ଏଠାରେ ψ ଟି x_1 ଓ x_2 ଉଭୟଙ୍କର ଫଳନ; ଏହାର ଅର୍ଥ ହେଲା,

$$|\psi|^2\, dx_1\, dx_2$$

କଣିକା 1 କୁ dx_1ରେ ଓ ଯୁଗପତ୍ କଣିକା 2କୁ dx_2ରେ ପାଇବାର ସମ୍ଭାବନା । ତେବେ, ଆମର ବର୍ତ୍ତମାନ ସମସ୍ୟା ସରଳ—(୧୫କ.୧)ର ଯେଉଁ ସମାଧାନଗୁଡ଼ିକ x_1 ଓ x_2ର ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଫଳନଗୁଡ଼ିକର ଗୁଣଫଳ ସେଗୁଡ଼ିକ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରିବା ।

ସୀମାସର୍ତ୍ତଗୁଡ଼ିକୁ ପାଳନ କରୁଥିବା ଓ $\int_0^L dx \int_0^L dx_2\, |\psi_{nk}|^2 = 1$

ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକୃତସ୍ଥ କରାଯାଇଥିବା ଏପରି ଗୋଟିଏ ସମାଧାନ ହେଲା,

$$\psi_{nk} = \psi_n(x_1)\ \psi_k(x_2) = \frac{2}{L}\sin n\pi\frac{x_1}{L}\sin k\pi\frac{x_2}{L}$$

$$0 \leq x \leq L$$

ଏଠାରେ ψ_n ଓ ψ_k ଗୁଡ଼ିକ ଏକ-କଣିକା ଫଳନ ଏବଂ n ଓ k ହେଲା ଯେକୌଣସି ଦୁଇଟି ଯୁକ୍ତ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା । ମଣ୍ଡଳର ସଂପୃକ୍ତ ଶକ୍ତି ହେଲା,

$$E_{nk} = \frac{h^2}{8m}\cdot\frac{n^2+k^2}{L^2} \qquad (୧୬ଘ.୨)$$

ଏହି ସମାଧାନ ଦେଖାଉଛି ଯେ, କଣିକା 1ଟି n ଅବସ୍ଥାରେ ଓ କଣିକା 2ଟି k ଅବସ୍ଥାରେ ରହିଅଛି । ଗୋଟିଏ ନୂଆ ଓ ଅତି ଦରକାରୀ ଆକାରର ବିକାଶ ଏଠାରେ ଦେଖାଗଲା, ଏହାକୁ ବିନିମୟ ବିକାଶ କୁହାଯାଏ । ଯଦି $n \neq k$, ଓ ψ_{nk}ରେ x_1 ଓ x_2 ପରସ୍ପର ବିନିମୟ ହୁଅନ୍ତି, ସେହି ଏକା ଶକ୍ତି ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ମିଳିବ, ଅର୍ଥାତ୍

$$\psi_{kn} = \frac{2}{L}\sin k\pi\frac{x_1}{L}\sin n\pi\frac{x_2}{L}$$

16ଘ.1 ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାରତ କଣିକା :

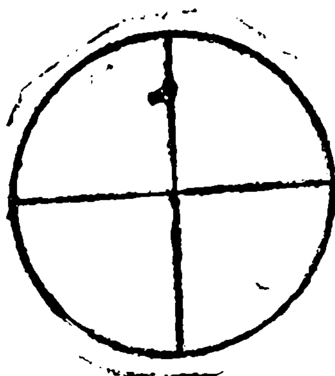
ଏହି ଫଳନଗୁଡ଼ିକ ଯେପରି ଲେଖାଯାଇଛି, ସେଥିରେ ସେଗୁଡ଼ିକୁ ଆଲୋଡ଼ନ ଭିତ୍ତିରେ ବ୍ୟବହାର କରିବା ସୁବିଧାଜନକ ନୁହେଁ । କାରଣ, ଯଦି ଶକ୍ତି ଅପରେଟରରେ ଗୋଟିଏ ଛୋଟିଆ ଅଲୋଡ଼ନ ପଦ $f(x_1, x_2)$ ପାଇଁ ସଂଶୋଧନ କରିବାର ଚେଷ୍ଟା କରାଯାଏ, ψ_{nk} ଓ ψ_{kn} ଏକା ଶକ୍ତି ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ ଥିବାରୁ ଅସୁବିଧା ଜନ୍ମିବ । ସମୀକରଣ (୧୩.୪୨)ର ସଦୃଶ ସମୀକରଣ ସବୁ ମିଳିବ ଓ ସେଥିରେ ଗୋଟିକରେ n ସ୍ଥାନରେ nk ଓ k ସ୍ଥାନରେ kn ଥିବ; ଏହି ସମୀକରଣରେ E'_{nk}କୁ ଉର୍ଦ୍ଧ୍ୱକ୍ରମରେ ଲୋପ କଲାପରେ (ଯେପରି ୧୩.୪୨ aକୁ ଆଗେଇବାବେଳେ କରାଯାଇଅଛି), ସମୀକରଣଟି

$$(E_{kn} - E_{nk})b_{nk} + \int_0^L dx_1 \int_0^L f(x_1, x_2)\ \psi_{kn}\ \psi_{nk}\ dx_2 = 0$$

ଆକାର ନେବ । ଏଠାରେ ଅବଶ୍ୟ $E_{kn} - E_{nk} = 0$, ତେବେ ସମାକଳଟି ଉଭେଇ ଯାଇ ନପାରେ ।

ଏହି ଘଟଣାମାନଙ୍କରେ ସବୁଠାରୁ ସରଳ ଓ ସାଧାରଣ ପ୍ରଣାଳୀ ହେଲା, ବିକାଶୀ ତରଙ୍ଗ ଫଳନପାଇଁ ଉପଯୁକ୍ତ ନୂତନ ସମାବେଶ ବ୍ୟବହାର କରିବା । ψ_{nk} ଓ ψ_{kn} ପରିବର୍ତ୍ତେ, ଶୂନ୍ୟକୋଟୀର ଫଳନ ସ୍ଥବରେ ଏମାନଙ୍କର ଏପରି ଦୁଇଟି ସମାବେଶ ବ୍ୟବହାର କରିବା ଯେପରିକି ନୂତନ ଫଳନମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଦତ୍ତ ଆଲୋଡ଼ନ ଶକ୍ତି $f(x_1, x_2)$ର ମ୍ୟାଟ୍ରିକ୍ସ ସଯୋଜକ ଉଭେଇଯିବ । ସେତେବେଳେ ଏହି ଆଲୋଡ଼ନ ମ୍ୟାଟ୍ରିକ୍ସଟି ଏହି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଶୂନ୍ୟ-କୋଟୀର ଫଳନମାନଙ୍କ ତୁଳନାରେ କର୍ଣ୍ଣୀଭୂତ ହୋଇଅଛି ବୋଲି ବୁଝାଯାଏ; ଗୋଟିଏ ସୁସଂପୂର୍ଣ କର୍ଣ୍ଣ-ମ୍ୟାଟ୍ରିକ୍ସ ହେଲା ଯାହାର କେବଳ ପ୍ରଧାନ କର୍ଣ୍ଣର ଉପାଦାନଗୁଡ଼ିକୁ (ଉପରର ବାମରୁ ତଳର ଡାହାଣ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ) ଛାଡ଼ିଦେଲେ ଅନ୍ୟ ଉପାଦାନଗୁଡ଼ିକ ଶୂନ୍ୟ ହୁଏ । ଏପ୍ରକାରର ଫଳନଗୁଡ଼ିକ ବ୍ୟବହାର କଲେ ପୂର୍ବ ଅସୁବିଧା ରହିବ ନାହିଁ ।

ବିକାଶ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଉପଯୁକ୍ତ ଶୂନ୍ୟକୋଟୀର ଫଳନ ବାଛିବାର ଆବଶ୍ୟକତାର ସମକକ୍ଷ ଏକ ପୁରାତନ ସମସ୍ୟା ରହିଛି । ଅନୁଚ୍ଛେଦ ୧୪.୮ରେ ବର୍ଣ୍ଣିତ କରାଯାଇଥିବା କମ୍ପନଶୀଳ ତନ୍ତ୍ରରେ, ଯଦି କେନ୍ଦ୍ରର ଏକପାଖିଆ କରି ଗୋଟିଏ ଗ୍ରେଟ ଓଜନ w ବସାଇ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟତା ନଷ୍ଟ କରି ଦିଆଯାଏ, ଆବୃତ୍ତି ଉପରେ ଏହାର ପ୍ରଭାବ ଆଲୋଡ଼ନ ତତ୍ତ୍ୱ ସାହାଯ୍ୟରେ ହିସାବ କରାଯାଇ ପାରିବ; କିନ୍ତୁ ଏକ୍ଷେତ୍ରରେ ଶୂନ୍ୟକୋଟୀର କମ୍ପନଗ୍ରନ୍ଥ ପାଇଁ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ମନୋନୟନରୁ ଆରମ୍ଭ କରିବାକୁ ହେବ (ଦେଖ, ଚିତ୍ର ୧୪କ.୧) । ଯେଉଁ ଶୂନ୍ୟକୋଟୀର ଗ୍ରନ୍ଥରେ ନିସ୍ପନ୍ଦ ରେଖାଟି ଯୋଗ କରାଯାଇଥିବା ଓଜନ ମଧ୍ୟଦେଇ ଗତି କରେ ଗୋଟିଏ ପରିବର୍ତ୍ତିତ କମ୍ପନଗ୍ରନ୍ଥ ତା ସହିତ ବହୁ ପରିମାଣରେ ସମାନ ହେବ. ଅନ୍ୟ ନୂତନ ଗ୍ରନ୍ଥରେ ନିସ୍ପନ୍ଦ ରେଖାଟି ଏକ ଅଭିଲମ୍ବ ଦିଗରେ ରହିବ । ଏହି ଓଜନର ଗୋଟିଏ ଫଳାଫଳ ହେଲା—ନିସ୍ପନ୍ଦ ରେଖା ସ୍ଥିର କରିଦେବା । ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ଫଳ ହେଲା—ଗୋଟିଏ ଶୂନ୍ୟ-କୋଟୀ ଆବୃତ୍ତି ବଦଳରେ ଦୁଇଟି ସାମାନ୍ୟ ଅସମାନ ଆବୃତ୍ତି ପାଇବା ଏ ଦୁଇଟି ଆବୃତ୍ତି ଦୁଇ ବିଭିନ୍ନ କମ୍ପନ ବିନ୍ୟାସ ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ । ତେଣୁ ଅଧିକା ଓଜନଟି ନେଲେ ବିକାଶ ଉଭେଇଗଲା ।



[ଚିତ୍ର ୧୫ଙ.୧ ଗୋଟିଏ କମ୍ପନଶୀଳ ଡ୍ରମର ନସ୍ପନ୍ଦ ରେଖାସବୁ]

ଉପସ୍ଥିତ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଅଲୋଡ଼ନ ତନ୍ତ୍ରର ଶୂନ୍ୟ-କୋଟୀ ଆରମ୍ଭ ସ୍ଥାନପାଇଁ ψ_{nk} ଓ ψ_{kn}ର ଅବଶ୍ୟକ ସମାବେଶ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟୀ ଓ ଅସାମଞ୍ଜସ୍ୟୀ ହୋଇପାରେ । ଏଗୁଡ଼ିକର ସଂଜ୍ଞା ହେଲା,

$$\psi_{nkS} = \frac{1}{\sqrt{2}}(\psi_{nk} + \psi_{kn}) \qquad (୧୫ଙ.୩କ)$$

$$\psi_{nkA} = \frac{1}{\sqrt{2}}(\psi_{nk} - \psi_{kn}) \qquad (୧୫ଙ.୩ଖ)$$

ଏହି ଫଳନଗୁଡ଼ିକରେ ଯଦି x_1 ଓ x_2 ନିଜ ନିଜ ମଧ୍ୟରେ ସ୍ଥାନ ପରିବର୍ତ୍ତନ କରନ୍ତି, ଏହା ସ୍ପଷ୍ଟ ଯେ ψ_{nkS} ଅପରିବର୍ତ୍ତିତ ରହିବ; ତେଣୁ ଦୁଇ କଣିକା ମଧ୍ୟରେ ସ୍ଥାନ ବିନିମୟ ପାଇଁ ଏହି ଫଳନ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟୀ ଅଟେ; କିନ୍ତୁ ψ_{nkA} କେବଳ ଚିହ୍ନ ବଦଳାଇଥାଏ ଓ ସେହି କାରଣରୁ ଏହି ବିନିମୟ ପାଇଁ ଅସାମଞ୍ଜସ୍ୟୀ । ପ୍ରକୃତସ୍ଥତାକୁ ରକ୍ଷା କରିବାପାଇଁ $\frac{1}{\sqrt{2}}$ ଗୁଣକଟି ନିଆଯାଇଅଛି [ଗୋଟିଏ କଣିକାର ସ୍ଥାନାଙ୍କମାନଙ୍କରେ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟତା କଣିକା ବିନିମୟରେ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟତା ସହ ଭ୍ରମ ନହେବା ଉଚିତ । ପ୍ରଥମଟିର ଉଦାହରଣ ହେଲା $\psi = x_1^2 x_2^4$ ଓ ଦ୍ୱିତୀୟର ଉଦାହରଣ ହେଲା $\psi = (x_1 - x_2)^2$] ।

ସମସ୍ତ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ପ୍ରତି ନୂତନ ଫଳନଗୁଡ଼ିକ ଅର୍ଥୋଗନାଲ; ଏମାନେ ପରସ୍ପର ପ୍ରତି ମଧ୍ୟ ଅର୍ଥୋଗନାଲ; କାରଣ ଗୋଟିଏ ଗ୍ରେଟିଆ ହିସାବରୁ ମିଳୁଛି,

$$\int_0^L dx_1 \int_0^L \psi_{nkS}\psi_{nkA}\, dx_2 = 0$$

ଆଉ ମଧ୍ୟ, ଏହି ଫଳନଗୁଡ଼ିକର ଗୁଣ ହେଲା ଯେ, x_1 ଓ x_2ରେ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ହୋଇଥିବା କୌଣସି ଅପରେଟରର ଏମାନଙ୍କ ପାଇଁ ମାଟ୍ରିକ୍ସ ସଂଯୋଜକ ଉଭେଇଯିବ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ମନେକର ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ତରଙ୍ଗ ସମୀକରଣଟିରେ $P = f\ [(x_1 - x_2)^2]$ ଆକାରର ଗୋଟିଏ ସ୍ଥିର ବିଭବ ପଦ ରହିଅଛି । ତେବେ

$$\int_0^L dx_1 \int_0^L f\, \psi_{nkS}\psi_{nkA}\, dx_2 = 0\ ।$$

ଏହା ଅତଣୀଘ୍ର ଜଣାପଡ଼ିଯିବ ଯଦି ଆମେ ଦେଖିବା ଯେ, x_1 ଓ x_2 ସମାକଳର ଚର ସ୍ୱବରେ ଯଦି ସ୍ଥାନ ବିନିମୟ କରନ୍ତି (ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ସମାକଳରେ ଏହା ସର୍ବଦା ସମ୍ଭବ) ସମାକଳଟି ଚିହ୍ନ ବଦଳାଇଥାଏ; କିନ୍ତୁ କେବଳ 0 ତା'ର ବିଯୁକ୍ତ ରାଶି ସହିତ ସମାନ ।

ψ_{nkS} ଓ ψ_{nkA} ଉଭୟରେ ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ କଣିକାକୁ n ଅବସ୍ଥାରେ ବା k ଅବସ୍ଥାରେ ପାଇବା କଥା ଉଭେଇ ଯାଇଛି ବୋଲି ଲକ୍ଷ୍ୟ ରଖିବାକୁ ହେବ । ତେବେ, ଦୁଇଟି ପ୍ରଧାନ ବିଷୟରେ ଏହି ଫଳନଗୁଡ଼ିକର ପରସ୍ପର ବିରୁଦ୍ଧାତ୍ମକ ଗୁଣ ହୋଇଥାଏ ।

ପ୍ରଥମେ ସମ୍ଭାବନା ସାନ୍ଦ୍ରତା କଥା ବିଚାର କରାଯାଉ ।

$$\psi_{nkS}^2 = \tfrac{1}{2}(\psi_{nk}^2 + \psi_{kn}^2) + \psi_{nk}\,\psi_{kn}$$
$$\psi_{nkA}^2 = \tfrac{1}{2}\,(\psi_{nk}^2 + \psi_{kn}^2) - \psi_{nk}\psi_{kn}$$

ଏହି ଦୁଇ ଉକ୍ତିରେ ଡାହାଣ ପକ୍ଷରେ ପ୍ରଥମ ପଦଟି ସମ୍ଭାବନା ସାନ୍ଦ୍ରତା ବୁଝାଉଛି, ଏଥିପାଇଁ କଣିକାଟି ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଭାବରେ ଗତି କରୁଛି ବୋଲି ଅନୁମାନ କରିବାକୁ ହେଉଛି । କାରଣ ଯଦି କଣିକାଟି n ଅବସ୍ଥାରେ ଥାଏ, dx_1ରେ x_1କୁ ପାଇବାର ସମ୍ଭାବନା ହେଲା $\psi_n^2\, dx_1$; ଏହାପରେ dx_2ରେ x_2କୁ ପାଇବାର ସମ୍ଭାବନା ହେଲା $\psi_k^2\, dx_2$ । ତେଣୁ

ଏ ଦୁଇଟି ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଘଟଣା ହିସାବରେ ନିଆଗଲେ ଏମାନଙ୍କର ଏକତ୍ର ଘଟିବାର ସମ୍ଭାବନା ଏ ଦୁଇ ଉତ୍ତର ଗୁଣଫଳ ବା $\psi_{nk}^2\ dx_1\ dx_2$; ψ_{kn} ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ଅନ୍ୟ ବ୍ୟବସ୍ଥାରେ ମଧ୍ୟ ସେହିପରି ହେବ । ତାହାଣପରେ ଦ୍ୱିତୀୟ ପଦଟି ଗୋଟିଏ ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକ ନୂତନତା । ଯେତେବେଳେ x_1 ଓ x_2ର ମୋଟାମୋଟି ସମାନ ମୂଲ୍ୟ ହୁଏ, $\psi_{nk}\ \psi_{kn} = \psi_{nk}^2 = \psi_{kn}^2$ ଆସନ୍ତି, ଫଳରେ ଶେଷ ପଦର ଫଳ ହେଲ ψ_{nkS}^2କୁ ପ୍ରାୟ ଦ୍ୱିଗୁଣ କରିଦେବା, କିନ୍ତୁ ψ_{nkA}^2କୁ ପ୍ରାୟ ଶୂନ୍ୟକୁ କମାଇ ଦେଲା । ତେଣୁ ବିନିମୟର ପ୍ରଭାବ ଅଛି, ଏହା ଫଳରେ ଯେତେବେଳେ ସେମାନଙ୍କର ସ୍ଥାନାଙ୍କର ବିନିମୟ ବେଳେ ଯଦି ସେମାନଙ୍କ ଅବସ୍ଥାକୁ ପ୍ରକାଶ କରୁଥିବା ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ହୋଇଥାଏ, ତେବେ କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ପରସ୍ପରର ନିକଟରେ ରହିବାକୁ ଆଗ୍ରହ କରିବେ; କିନ୍ତୁ ଯଦି ଏପରି ବିନିମୟ-ବେଳେ ସେମାନଙ୍କର ଅବସ୍ଥାକୁ ପ୍ରକାଶ କରିବା ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ଅସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ହୋଇଥାଏ, ତେବେ ପରସ୍ପରର ସାନ୍ନିଧ୍ୟ ପରିହାର କରିବେ । କଣିକାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ କି ପ୍ରକାର ବଳ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହେଉଛି, ଏହି ବିନିମୟ ପ୍ରଭାବ ତାହାଉପରେ ନିର୍ଭରଶୀଳ ନୁହେଁ । ପୁରାତନ ତତ୍ତ୍ୱରେ ଏହାର ସଦୃଶ ଧାରଣା ନାହିଁ ।

ଦ୍ୱିତୀୟତଃ, ଆଲୋଡ଼ନ ଫଳରେ କଣିକାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ହୋଇଥିବା ପ୍ରଥମ କୋଟୀର ଶକ୍ତି ସଂଶୋଧନ କଥା ବିଚାର କରିବା । ସଠିକ୍ ଭାବରେ କହିବାପାଇଁ ମନେକର କଣିକାଗୁଡ଼ିକର ଏକା ପରିମାଣ ବିଦ୍ୟୁତ ଭାର q ଓ ସେମାନଙ୍କର ପରସ୍ପରର ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଶକ୍ତି ହେଲା P, ଏଠାରେ $P = q^2/4\pi\epsilon_0 r$ । ତେବେ ସମୀକରଣ (୧୭.୪୧)ର ଅନୁସରଣରେ ପାଇବା,

$$\Delta E_S = \tfrac{1}{2}\int\int \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 r}(\psi_{nk}^2+\psi_{kn}^2)\, dx_1\, dx_2$$

$$+\int\int \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 r}\psi_{nk}\psi_{kn}\, dx_1\, dx_2 \qquad (୧୪କ\cdot୪କ)$$

$$\Delta E_A = \tfrac{1}{2}\int\int \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 r}(\psi_{nk}^2+\psi_{kn}^2)\, dx_1\, dx_2$$

$$-\int\int \frac{q^2}{4\pi\epsilon_0 r}\cdot\psi_{nk}\,\psi_{kn}\, dx_1,\, dx_2 \qquad (୧୪କ\cdot ୪ଖ)$$

ବର୍ତ୍ତମାନ ΔE_S ଓ ΔE_Aରେ ଥିବା ପ୍ରଥମ ପଦର ଅର୍ଦ୍ଧ ପୁରାତନ ଅର୍ଥ ବୁଝାଇବା ସମ୍ଭବ । ଆମେ ଲେଖି ପାରିବା ଯେ,

$$\int\int \frac{q^2}{4\pi\in_0 r} \psi_{nk}^2\, dx_1\, dx_2 = \int q\, [\psi_k(x_2)]^2\, dx_2$$

$$\int \frac{q}{4\pi\in_0 r} [\psi_n(x_1)]^2\, dx_1$$

dx_1ରେ ଥିବା ସମାକଳ ପ୍ରଥମ କଣିକାଟିକୁ ପ୍ରକାଶ କରୁଥିବା ଘୂର୍ଣ୍ଣ ବାଦଲ ଲାଗି x_2 ବିନ୍ଦୁରେ ଘଟିଥିବା ବିଭବ ପାଇଁ ଉକ୍ତ ବୋଲି ଗ୍ରହଣ କରାଯାଇପାରେ; $q[\psi_k(x_2)]^2 dx_2$ ଏହି ବିନ୍ଦୁରେ ଦ୍ୱିତୀୟ ଘୂର୍ଣ୍ଣ ବାଦଲର ସାନ୍ଦ୍ରତା । ψ_{kn}^2ରୁ ମିଳୁଥିବା ଅଂଶ ପାଇଁ ମଧ୍ୟ ସେହିପରି ଅର୍ଥ ଦିଆଯାଇପାରେ । ତେଣୁ ΔE_S ଓ ΔE_Aରେ ପ୍ରଥମ ପଦ କଣିକାମାନଙ୍କର ପୁରାତନ କୁଲମ୍ବ ବିକର୍ଷଣ ଲାଗି ଘଟୁଥିବା ଦୁଇ ଘୂର୍ଣ୍ଣ ବାଦଲ ମଧ୍ୟରେ ପରସ୍ପର ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ବୋଲି ଅର୍ଥ କରାଯାଇପାରେ । ଅନ୍ୟ ପକ୍ଷରେ (୧୬.୪୩)ରେ ତାହାର ପରର ଦ୍ୱିତୀୟ ପଦ ΔE_Sରେ ଯୁକ୍ତ ଓ ΔE_Aରେ ବିଯୁକ୍ତ । ଏଥିରେ ବିନିମୟ ସମାକଳ ନାମରେ ଗୋଟିଏ ସମାକଳ ରହିଅଛି । ଏହାର ଅନୁରୂପ ଧାରଣା ପୁରାତନ ତତ୍ତ୍ୱରେ ନାହିଁ । ଦୁଇ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଏହାର ବିପରୀତ ଚିହ୍ନ, ଆଗରୁ ଯେପରି ବୁଝାଯାଇଛି, କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ସାମନ୍ତରୀ ଅବସ୍ଥାରେ ଏକତ୍ର ହେବାପାଇଁ ଓ ଅସାମନ୍ତରୀ ଅବସ୍ଥାରେ ପୃଥକ୍ ହେବାପାଇଁ ଆଗ୍ରହ ଥିବାରୁ ମିଳୁଅଛି, ଏହା ଫଳରେ ଦୁଇ କ୍ଷେତ୍ରରେ ମିଳୁଥିବା ଆଲୋଡ଼ନ ବିଭବର ହାରାହାରି ମୂଲ୍ୟରେ ବିଭିନ୍ନତା ହେଉଅଛି । ଏହି ପ୍ରଭାବ ଆକର୍ଷଣ ଓ ବିକର୍ଷଣ ଫଳରେ ଘଟୁଥିବା ଅନ୍ୟ ସମ୍ଭାବ୍ୟ ପ୍ରଭାବଗୁଡ଼ିକ ସାଙ୍ଗକୁ ଘଟୁଅଛି, ଅନ୍ୟ ସମ୍ଭାବ୍ୟ ପ୍ରଭାବ ଫଳରେ ଶକ୍ତିର ଅନ୍ୟ ସଂଶୋଧନ ଦରକାର ହୋଇପାରେ ।

ବିନିମୟ ପ୍ରଭାବ ଏକପ୍ରକାର ଭୌତିକ ପାର୍ଥକ୍ୟ ଜନ୍ମାଉଛି, ଯାହାକି ପୁରାତନ ତତ୍ତ୍ୱରେ ନଥିଲା । ଏକଥା ବୁଝାଯାଇପାରିବ । ଏପରିକି ଆଲୋଡ଼ନ ବିଭବର ଉପସ୍ଥିତିରେ ମଧ୍ୟ, ଦୁଇଟି ଏକାପ୍ରକାରର କଣିକାଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ବିନିମୟ ହେବା ଫଳରେ ଦୁଇଟି ସମ୍ଭାବ୍ୟ ପୁରାତନ ଗତି ହେବ ଏବଂ ଏରେ ଆରମ୍ଭ ହୋଇଗଲେ, ପରୀକ୍ଷାଦ୍ୱାରା ଏ ଦୁଇ ଗତି

ମଧ୍ୟରେ ତାରତମ୍ୟ ବାହାର କରି ହେବନାହିଁ । ଅନ୍ୟପକ୍ଷରେ, ତରଙ୍ଗ ସାନ୍ନିଧ୍ୟରେ ଏ ଦୁଇ ଅନୁରୂପ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାରେ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ଶକ୍ତି ମିଳିଥାଏ ।

ସଂହିତକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ମଧ୍ୟ ଏହିପରି ଘଟଣା ଘଟିଥାଏ । ତେବେ, ବିନିମୟ ପ୍ରଭାବ କେବଳ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ସମ କଣିକାମାନଙ୍କଠାରେ ସୀମାବଦ୍ଧ ।

15a·2 ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ, ଅପବର୍ଜନ ନିୟମ :

ଉକ୍ତ ଉଦାହରଣରେ, କଣିକାଗୁଡ଼ିକୁ ବର୍ତ୍ତମାନ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବୋଲି ନିଅ ଓ କ୍ଷୁଦ୍ର ବାକ୍ୟଟି ଏତେ ବଡ଼ ହେଉ ଯେ ପ୍ରଥମ କୋଟୀର ଆସନ୍ନ ପ୍ରଭାବରେ ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ବିକର୍ଷଣ ହେଉ ଥାଉ । ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ କରିବା ଉଦ୍ଦେଶ୍ୟରେ ଏହି ଆଲୋଚନାରେ ବର୍ତ୍ତମାନ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ନିଆଯିବ ।

ବହୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବିଷୟ ଆଲୋଚନା କଲାବେଳେ, ପ୍ରତି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ ଦୁଇଟି ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ନେବା ଅତ୍ୟନ୍ତ ଜଟିଳ ହେଉଅଛି । ଏହି ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଫଳନ-ଗୁଡ଼ିକ କୌଣସି ପ୍ରକାରର ସଙ୍କେତର ବ୍ୟବହାର ଫଳରେ ଏକତ୍ରିତ ହୋଇ ଗୋଟିଏ ହୋଇପାରେ, ତେବେ ଅଧିକ ସୁବିଧା ହେବ । ନିମ୍ନଲିଖିତ ସଂକ୍ଷିପ୍ତ ସଙ୍କେତ ବିଶେଷଭାବେ ବ୍ୟବହୃତ ନହେଲେ ମଧ୍ୟ ସୁବିଧାଜନକ ଓ ଯଥେଷ୍ଟ ।

ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଅବସ୍ଥା m_s କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟାଦ୍ୱାରା ସୂଚିତ ହୁଏ, ଏହି ଅବସ୍ଥାକୁ S_m ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରିବା; ତେବେ ଭଗ୍ନାଂଶଗୁଡ଼ିକୁ ସର୍ବଦା ଲେଖିବାର ଅସୁବିଧା ଦୂର କରିବାପାଇଁ $S_{\frac{1}{2}}$ ପାଇଁ S_α ଓ $S_{-\frac{1}{2}}$ ପାଇଁ S_β ଲେଖିବା ସୁବିଧାଜନକ । ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ ତରଙ୍ଗ ଫଳନ $\psi = S_\alpha\ u_1 + S_\beta\ u_2$ ଭାବରେ ଲେଖା ଯାଇପାରିବ, ଏଠାରେ u_1 ଓ u_2 ସ୍ଥାନୀୟ ସ୍ଥାନାଙ୍କମାନଙ୍କର ପ୍ରକୃତ ଓ ଜଟିଳ ଫଳନ (ଏବଂ ସାଧାରଣ ଭାବରେ ସମୟର ମଧ୍ୟ) । ତରଙ୍ଗଫଳନମାନଙ୍କରେ ଠିକ୍ ଭାବରେ ଫଳ ପାଇବା ପାଇଁ, ଆମେ ଅନୁମାନ କରିବା ଯେ, ସଂଜ୍ଞା ଅନୁସାରେ $S_\alpha^2 = S_\beta^2 = 1$, କିନ୍ତୁ $S_\alpha S_\beta - S_\beta S_\alpha = 0$

ତା ନହେଲେ S_m ଗୋଟିଏ ପ୍ରକୃତ ସଂଖ୍ୟା ପରି କାର୍ଯ୍ୟ କରିବ । ତେବେ ସମ୍ଭାବନା

ସାଙ୍କେତିକ ଚିହ୍ନ ଭାବରେ ମିଳିବ; ଅତଏବ

$$|\psi|^2=\psi^*\psi=(S_\alpha\ u_1^*+S_\beta\ u_2^*)(S_\alpha\ u_1+S_\beta\ u_2)$$
$$=u_1^*u_1+u_2^*u_2=|u_1|^2+|u_2|^2$$

ଏକାଧିକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଙ୍କ ବିଷୟ ଆଲୋଚନା କଲାବେଳେ, ଆମେ ପ୍ରତ୍ୟେକ ପାଇଁ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ସଙ୍କେତ S_m ବ୍ୟବହାର କରିବା । ତେବେ, ବିଭିନ୍ନ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ସେଟ୍‌କୁ ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ କ୍ରମରେ ଲେଖିବା ସହଜ ଓ ସେହି କ୍ରମରେ ଗୋଟିଏ S ସଙ୍ଗେ କୌଣସି କମ୍ପ୍ଲେକ୍ସ ଦେବା ସହଜ । ତେବେ ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ ψର ସାଧାରଣ ରୂପ ହେବ,

$$\psi-S_{\alpha\alpha}\ u_1(x_1,x_2,t)+S_{\alpha\beta}\,u_2(x_1,x_2,t)$$
$$+S_{\beta\alpha}\,u_3(x_1,x_2,t)+S_{\beta\beta}\,v_4(x_1,x_2,t)$$

ତାପରେ ଆମେ ଅନୁମାନ କରିବା ଯେ, ଯଦି $(m_s)_1'=(m_s)_1$ ଓ $(m_s)_2'=(m_s)_2$ ହୁଏ, ତେବେ $S(m_s)_1\ (m_s)_2\ S\ m_s)_1'\ (m_s)'_2=1$,
କିନ୍ତୁ ଅନ୍ୟଥା ଏହା ଶୂନ୍ୟ ହେବ ।

ବର୍ତ୍ତମାନ ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗୋଟିଏ ବାକ୍ସ ମଧ୍ୟରେ ଥିଲେ କ'ଣ ହେବ, ସେ କଥା ଆଲୋଚନା କରିବା । ଯେତେବେଳେ ସେମାନଙ୍କର ପରସ୍ପର ପ୍ରତି ଥିବା ଆକର୍ଷଣ ହେଯ୍ୟ ହୁଏ, ଏକା ଶକ୍ତି ପରିମାଣ E_{nk} ପାଇଁ ସମ୍ଭାବ୍ୟ ବିଭିନ୍ନ ତରଙ୍ଗ ଫଳନ କମ୍ପ୍ଲେକ୍ସ ଚାରିଗୋଟିଆକାରର ହେବ ।

$$S_{\alpha\alpha}\,\psi_{nk}'\ S_{\alpha\beta}\ \psi_{nk}\ S_{\beta\alpha}\ \ \psi_{nk}\qquad S_{\beta\beta}\ \ \psi_{nk}$$

ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ଏଠାରେ $S_{\alpha\beta}$ ସୂଚାଉଛି ଯେ ପ୍ରଥମ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟିର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ $\frac{1}{2}$ ଓ ଦ୍ୱିତୀୟଟିର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ $-\frac{1}{2}$; କିନ୍ତୁ $S_{\beta\alpha}$ ଏ ମୂଲ୍ୟଗୁଡ଼ିକ କ୍ରମରେ $-\frac{1}{2}$ ଓ $\frac{1}{2}$ ବୋଲି ସୂଚାଉଛି । ଯଦି $\neq k$, ସେହିପରି ψ_{kn}କୁ ଏକା ଶକ୍ତି F_{nk} ପାଇଁ ଅଣ୍ଡ ଗୋଟିଏ ସେଟ ମିଳି ପାରିବ । ଏହିପରି ମୋଟରେ ୮ଟି ଫଳନ ହେବ । ତେବେ, ଏହିଠାରେ ଅପବର୍ଜନ ନିୟମର ବିଚାର କରିବାକୁ ହେବ । ସବସମ କଣିକାମାନଙ୍କର ତରଙ୍ଗ ଫଳନଗୁଡ଼ିକ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ଓ ଘୂର୍ଣ୍ଣନରେ ଅସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ହେବା ଦରକାର, ଅର୍ଥାତ୍ ଯଦି ଗୋଟିଏ କଣିକାର ସ୍ଥାନାଙ୍କ ଓ ଘୂର୍ଣ୍ଣନର ସମୂହ ଭାବରେ ଅନ୍ୟଟିର ତତ୍ତୁଲ୍ୟମାନ ସହିତ ବିନିମୟ ହୁଏ,

ତେବେ ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ନିଶ୍ଚୟ ଚିହ୍ନ ବଦଳାଇବ । ଏହି ଅବଶ୍ୟକତା ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକୀର ଗୋଟିଏ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ମୌଳିକ କଳ୍ପନା ।

ତେବେ, ଏପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଲେଖାଯାଇଥିବା କୌଣସି ତରଙ୍ଗ ଫଳନର ଆବଶ୍ୟକୀୟ ଅସାମଞ୍ଜସ୍ୟତା ନାହିଁ । ତେଣୁ ଏକା ଶର୍ତ୍ତ ପରିମାଣର ଅନୁଗତ ଫଳନମାନଙ୍କର ଉପଯୁକ୍ତ ସରଳରୈଖିକ ସମାବେଶ ଏଥିପାଇଁ ନେବାକୁ ହେବ । $n \neq k$ ହେଲାବେଳେ ଶକ୍ତି E_{nk} ସହିତ ସମ୍ପୃକ୍ତ 8ଟି ଗୁଣନ ଫଳନ ମଧ୍ୟରୁ କେବଳ ଦୁଇଟି ଅସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ସମାବେଶ କରାଯାଇ ପାରିବ ଏବଂ ଅନ୍ୟ ସମସ୍ତ ଅସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ସମାବେଶ ଏଗୁଡ଼ିକ ସାହାଯ୍ୟରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରିବ;

$$\psi_1 = \sqrt{\tfrac{1}{2}}\, S_{\alpha\alpha}\, (\psi_{nk} - \psi_{kn})$$

$$\psi' = \sqrt{\tfrac{1}{2}}\, (S_{\alpha\beta}\, \psi_{nk} - S_{\beta\alpha}\, \psi_{kn})$$

$$\psi_2 = \sqrt{\tfrac{1}{2}}\, S_{\beta\beta}\, (\psi_{nk} - \psi_{kn})$$

$$\psi'' = \sqrt{\tfrac{1}{2}}\, (S_{\beta\alpha}\, \psi_{nk} - S_{\alpha\beta}\, \psi_{kn})$$

ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ଏଠାରେ ସ୍ଥାନୀୟ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ଓ ଘୂର୍ଣ୍ଣନର ପୂରଣକ୍ତି ବଦଳସ୍ୱ $S_{\alpha\beta}\ \psi_{nk}$କୁ $S_{\beta\alpha}\ \psi_{kn}$ରେ ଓ $S_{\beta\alpha}\ \psi_{kn}$କୁ $S_{\alpha\beta}\ \psi_{nk}$ରେ ପରିଣତ କରିଦିଏ: ତେଣୁ ψ' ଓ ψ''ର ଚିହ୍ନ ଅପରିବର୍ତ୍ତିତ ରହିଯାଏ । କେବଳ ସ୍ଥାନୀୟ ସ୍ଥାନାଙ୍କମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ψ_1 ଓ ψ_2ର ଆବଶ୍ୟକୀୟ ପରିବର୍ତ୍ତନ ଘଟିଥାଏ ।

ତେବେ, ଆମର ଅସୁବିଧା ସବୁ ଏବେ ମଧ୍ୟ ଶେଷ ହେଲାନାହିଁ । ସମ୍ଭବତଃ ψ ଓ ψ'' ଫଳନଗୁଡ଼ିକ ଆଲୋଚନ ତତ୍ତ୍ୱରେ ଶୂନ୍ୟକୋଟୀର ଫଳନ ଭାବରେ ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇ ପାରିବ ନାହିଁ । କାରଣ, ଯଦି f ଗୋଟିଏ ସାମଞ୍ଜସୀ ଆଲୋଡ଼ନ ସ୍ୱରୂପ ହୁଏ, ଆମେ ପାଇବା.

$$\iint f\, \psi'\psi''\, dx_1\, dx_2 = -\iint f\, \psi_{nk}\psi_{kn}\, dx_1\, dx_2$$

(ଏଠାରେ $S_{\alpha\beta}\, S_{\beta\alpha} = S_{\beta\alpha}\, S_{\alpha\beta} = 0$, କିନ୍ତୁ $S_{\alpha\beta}\ S_{\alpha\beta} = S_{\beta\alpha}\, S_{\beta\alpha} = 1$) ।

ଶେଷ ସମୀକରଣଟି ଉଦ୍ଭେଇଯିବା ପରି ମନେ ହେଉନାହିଁ । ତେଣୁ, ସାଧାରଣ ବ୍ୟବହାର ପାଇଁ ψ' ଓ ψ'' ପାଇଁ ସେମାନଙ୍କର ଯୋଗଫଳ ଓ ବିୟୋଗଫଳର ଅନୁପାତ ନିମ୍ନଦତ୍ତ ନୂତନ ସମାବେଶ ସବୁ ବ୍ୟବହାର କରିବା ଅଧିକ ଗ୍ରହଣୀୟ ହୁଏ,

$$\psi_3 = \tfrac{1}{2}\,(S_{\alpha\beta} + S_{\beta\alpha})\,(\psi_{nk} - \psi_{kn})$$
$$\psi_4 = \tfrac{1}{2}\,(S_{\alpha\beta} - S_{\beta\alpha})\,(\psi_{nk} + \psi_{kn})$$

ବର୍ତ୍ତମାନ ସହଜରେ ଦେଖାଇ ହେବ ଯେ, ଯଦି x_1 ଓ x_2ର ବିନିମୟ ପାଇଁ f ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ହୁଏ, ତେବେ $\int\int \psi_3\psi_4\, dx_1\, dx_2 = 0$ ।

ଗୋଟିଏ ଅପରେଟରର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସଂବେଗର ଗୁଣରୁ ଦେଖାଇ ହେବ ଯେ, ψ_1, ψ_2 ଓ ψ_3 ସମସ୍ତେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସଂବେଗର ପରିଣାମୀର ବର୍ଗକୁ $S\,(S+1)\,\hbar^2$ ପରିମାଣ (ଏଠାରେ $S=1$) ଦେବେ; ଆଉ ମଧ୍ୟ S_α ଓ S_β ସଙ୍ଖ୍ୟା ଦେବାବେଳେ ଯେଉଁ ଅକ୍ଷ ନିଆଯାଇଥିଲା, ସେହି ଦିଗରେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସଂବେଗର ସଂଯୋଜକର ମୂଲ୍ୟ $m_s\hbar$, ଏଠାରେ ψ_1, ψ_3, ψ_2 ପାଇଁ ଯଥାକ୍ରମେ $M_s = 1, 0, -1$ । ଏହା ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ଘଟଣା । M_sର ଏହି ମୂଲ୍ୟଗୁଡ଼ିକ $\alpha + \alpha = 1$, $\alpha + \beta = 0$, $\beta + \beta = 1$ର ଅନୁରୂପ । ଅନ୍ୟ ପକ୍ଷରେ ψ_4 ପାଇଁ $S=0$ ଓ $M_s = 0$ ।

Sର ଦୁଇଟି ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ମୂଲ୍ୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଭେକ୍ଟରଗୁଡ଼ିକର ପରିମାଣ $\frac{1}{2}$ ସମାନ୍ତର ଭାବରେ ବା ପ୍ରତି ସମାନ୍ତର ରୀତିରେ ଯୋଗ ହେବାରୁ ମିଳୁଛି ବୋଲି ଧାରଣା କରାଯାଇପାରେ । ବେଳେବେଳେ $S=1$ କୁ ନେଇ ମିଳୁଥିବା ଅବସ୍ଥାସବୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନଗୁଡ଼ିକ ସମାନ୍ତର ଭାବେ ଥିବା ଅବସ୍ଥା ବୋଲି ବୁଝାଯାଏ, ମାତ୍ର ψ_3 ପାଇଁ ଏ ବର୍ଣ୍ଣନା ସନ୍ଦେହାତ୍ମକ ହୋଇଥାଏ ।

ମନେ ରଖିବାକୁ ସହଜ ହେବ ବୋଲି ଦୁଇ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ ଏହିପରି ମିଳୁଥିବା ସ୍ୱତନ୍ତ୍ରଟି ସାମଞ୍ଜସ୍ୟୀ ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ସଙ୍କେତରେ ଶୃଙ୍ଖଳାରେ ଲେଖାଯାଇପାରିବ, ଯଥା—

$S=1$ $\qquad\qquad\qquad\qquad$ $S=0$

$$
\begin{array}{lll}
M_s=1 & & \\
 & \sqrt{\tfrac{1}{2}}\; S_{\alpha\alpha} & \\
m_s=0 & & (\psi_{nk}-\psi_{kn}) \\
 & \tfrac{1}{2}\,(S_{\alpha\beta}+S_{\beta\alpha}) & \tfrac{1}{2}(S_{\alpha\beta}-S_{\beta\alpha}) \\
M_s=-1 & & \\
 & \sqrt{\tfrac{1}{2}}\; S_{\beta\beta} & (\psi_{nk}+\psi_{kn})
\end{array}
\qquad (୧୫କ ୭)
$$

ତେଣୁ, $n \neq k$ ପାଇଁ, $S=\frac{1}{2}$ ଥାଇ ପୁଷ୍ଟିନ ସହ ଅପବର୍ଜନ ନିୟମ ନେଇ ବିଚାର କଲେ ଏକା ଶକ୍ତି ପରିମାଣ E_{nk} ସହ ସଂଯୁକ୍ତ ବିକାଶୀ ତରଙ୍ଗଫଳନ ଗୁଡ଼ିକର ସଂଖ୍ୟା କେବଳ ଦୁଇଗୁଣ ହୋଇଯାଉଅଛି ।

ଲକ୍ଷ୍ୟ କରିବାକୁ ହେବ ଯେ, $S=1$ ପାଇଁ ମିଳୁଥିବା ଉନୋଟିଯାକ ଫଳନ କେବଳ ସ୍ଥାନୀୟ ସ୍ଥାନାଙ୍କମାନଙ୍କରେ ଅସାମଞ୍ଜସ୍ୟ, କେବଳ $S=0$ ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ମାତ୍ର ଫଳନ ଏଥିପାଇଁ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ । ଏହି ଘଟଣା ଫଳନଗୁଡ଼ିକୁ ପୁଷ୍ଟିନକୁ ଅବହେଳା କଲବେଳେ ଯେଉଁ ବିପରୀତ ଧର୍ମୀ ବିନିମୟ ଗୁଣ ଦେଉଥିଲା ଠିକ୍ ସେହି ଗୁଣ ଦେଉଅଛି । ଅନେକ ପରିମାଣାତ୍ମକ ଫଳ ମଧ୍ୟ ସମାନ । କାରଣ ତରଙ୍ଗଫଳନମାନଙ୍କର ସବୁ ଗୁଣରେ ପୁଷ୍ଟିନ ସଙ୍କେତ ଉଭେଇଯାଉଛି । ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଭାବରେ କହିଲେ, ସମୀକରଣ (୧୫ଗ-୪ଖ)ଟି ସ୍ୱଳ୍ପ ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଧାରଣାଶକ୍ତି କ୍ରିୟା ପାଇଁ ମିଳୁଥିବା ΔE_A ପାଇଁ ଲେଖାଯାଇଥିଲେ ମଧ୍ୟ ବର୍ତ୍ତମାନ ବିନା ପରିବର୍ତ୍ତନରେ $S=1$ ହୋଇଥିବା ତିନି ଶୂନ୍ୟ-କୋଟୀ ଅବସ୍ଥା ପାଇଁ ଲାଗୁ ହେବ; କିନ୍ତୁ ΔE_S ପାଇଁ ଲେଖାଥିବା (୧୫କ-୪ଡ) $S=0$ ପାଇଁ ଲାଗୁହେବ । ଲକ୍ଷ୍ୟ କରିବାର କଥା ଯେ, ΔE_Aଟି M_Sର ତିନି ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ ସମାନ । ତେଣୁ, ପୁଷ୍ଟିନ ପାଇଁ ଘଟୁଥିବା ଶକ୍ତିସ୍ତରମାନଙ୍କରେ ସ୍ଥିର-ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଧାରଣାଶକ୍ତି କ୍ରିୟାଦ୍ୱାରା ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣଭାବେ ନଷ୍ଟ ହୋଇଯାଉନାହିଁ, ବା ପ୍ରକୃତପକ୍ଷେ, ଦୁଇ କଣିକାଙ୍କର ସ୍ଥାନାଙ୍କମାନଙ୍କରେ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ କୌଣସି ଆଲୋଡ଼ନ ଦ୍ୱାରା ଏହି ବିକାଶ ନଷ୍ଟ ହେବନାହିଁ ।

ସିଙ୍ଗ୍ଲେଟରେ, $R = n$ ହେଲେ ମିଳୁଥିବା ପ୍ରଧାନ ଘଟଣାଟି ଲକ୍ଷ୍ୟ କରିବାକୁ ବାକି ରହିଲା । ଏକ୍ଷେତ୍ରରେ $\psi_{nk} - \psi_{kn} = 0$, ତେଣୁ କେବଳ ଗୋଟିଏ ପ୍ରତି ସମାନ୍ତର ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ମିଳିଲା; ଏଥିରେ $S = M_s = 0$; ତେଣୁ ଆମେ ଲେଖିପାରିବା

$$\psi = \sqrt{\tfrac{1}{2}}\,(S_{\alpha\beta} \quad S_{\beta\alpha})\,\psi_{nn} \qquad (୧୫୪·୭)$$

ପରେ ଆମେ $S_{\alpha\alpha}\psi_{nn}$ ବା $S_{\beta\beta}\psi_{nn}$କୁ ଆରମ୍ଭ କରିବାକୁ ଚେଷ୍ଟା କରିବା, ଅପବର୍ଜନ ନିୟମ ବ୍ୟବହାର କଲାପରେ କୌଣସି ସାଧାରଣରେ ବ୍ୟବହୃତ ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ମିଳେନାହିଁ ।

ପ୍ରଶ୍ନାବଳୀ

୧ । ନିମ୍ନଲିଖିତ ପ୍ରତ୍ୟେକ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥର ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥା ପାଇଁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବିନ୍ୟାସ ବର୍ଣ୍ଣନା କର ।

$_6C$, $_{17}Cl$, 50 Sn, $_{74}W$ ଓ $_{86}Rn$.

୨ । ଗୋଟିଏ ଉତ୍ତେଜିତ K ପରମାଣୁର A_r ଅନ୍ତଃସ୍ଥଳ ଓ ସଂଯୋଜକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି $5d$ ଅବସ୍ଥାରେ ରହିଅଛି । j ର ବିଭିନ୍ନ ସମ୍ଭାବ୍ୟ ମୂଲ୍ୟ କ'ଣ ? ଏହି ପ୍ରତି j ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ $\vec{A}_1$ ଓ $\vec{A}_2$ ମଧ୍ୟରେ ଏବଂ $\vec{A}_1$ ଓ $\vec{A}_l$ ମଧ୍ୟରେ କୋଣ ସ୍ଥିର କର ।

୩ । (କ) ଦେଖାଅ ଯେ, ଦତ୍ତ nl ଅବସ୍ଥା ପାଇଁ ସୂକ୍ଷ୍ମସ୍ତରମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଅନ୍ତର ହେବ,

$$\triangle E_{l+\frac{1}{2},\ l-\frac{1}{2}} = \frac{\alpha^2 E_1 Z^4_{eff}}{n^3 l\,(l+1)}$$

ଏଠାରେ α ହେଲା ସୂକ୍ଷ୍ମଗଠନ ଧ୍ରୁବ ଓ E_1 $(=13{\cdot}6eV)$ ହେଲା ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ପ୍ରଥମ ବୋର୍ କକ୍ଷରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ।

(ଖ) ପ୍ରମାଣ କର--- ଏହି ଅନ୍ତର ଏପରି ହେବ ଯେପରିକି ସୂକ୍ଷ୍ମଗଠନ ସ୍ତରମାନଙ୍କର ହାରାହାରି ଶକ୍ତି, ଘୂର୍ଣ୍ଣନକକ୍ଷ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ପ୍ରଭାବକୁ ନେବା ପୂର୍ବରୁ nl ଅବସ୍ଥାର ଶକ୍ତି ଯେତିକି ଥିଲା, ଠିକ୍ ସେତିକି ।

୪ । ସୁନାର ସଙ୍କଟ ଶୋଷଣ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ସବୁ K, L_I, L_{II} ଓ L_{III} ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ ହେଲା ଯଥାକ୍ରମେ 0·1532, 0·8622, 0·9009 ଓ 1·038 Å । ସୁନାର ଏହି ପ୍ରତ୍ୟେକ ସ୍ତରରୁ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ନିଷ୍କାସନ କରିବାପାଇଁ କେତେ କେତେ ଶକ୍ତି ଦରକାର ହେବ keVରେ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର । 14 keV ବିଶିଷ୍ଟ

ଗୋଟିଏ ଫୋଟନ ଦ୍ୱାରା ଏଥି ମଧ୍ୟରୁ କେଉଁ ସ୍ତରରୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ନିଷ୍କାସନ ହୋଇ ପାରିବ ?

୫ । ଜନ୍‌ସନ ଦେଖିଲେ ଯେ, k ଶୋଷଣ ସୀମାର ଶ୍ରେଷ୍ଠ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟଆଡ଼କୁ ଥିବା ନିଃଶେଷଣାଙ୍କର ଅନୁପାତ r_k ମୋଟାମୋଟି ଭାବରେ $r_k = \frac{E_k}{E_L}$ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ, ଏଠାରେ E ହେଲା ଏହାର ପରଲେଖ ଦ୍ୱାରା ସୂଚିତ କକ୍ଷରୁ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ନିଷ୍କାସନ କରିବାପାଇଁ ଦରକାର ହେଉଥିବା ଶକ୍ତି ପରିମାଣ । ଜନ୍‌ସନଙ୍କର ଏହି ସମ୍ବନ୍ଧ ଓ ପୂର୍ବ ପ୍ରଶ୍ନରେ ଥିବା ପରୀକ୍ଷା ଫଳ ବ୍ୟବହାର କରି ସୁନା ପାଇଁ r_k ହିସାବ କର । (ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ମୂଲ୍ୟ ହେଲା 5·65). K ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବ୍ୟତୀତ ସମସ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ ଶୋଷଣ ସୀମାର ଏକପାଖର ଅନ୍ୟ ପାଖକୁ ଯିବାରେ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟରେ ସାମାନ୍ୟ ପରିବର୍ତ୍ତନ ଫଳରେ କୌଣସି ପ୍ରଭେଦ ହୁଏନାହିଁ ବୋଲି ମନେକର ଗୋଟିଏ Au ପରମାଣୁରୁ $\lambda = 0{\cdot}152A^\circ$ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ଫୋଟନ ଦ୍ୱାରା ଗୋଟିଏ ଫଟୋ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ K କୋଷରୁ ନିଷ୍କାସିତ ହେବାର ସମ୍ଭାବନା ହିସାବ କର । (Auରେ ଏହି ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟରେ ପ୍ରାୟ ସମସ୍ତ ନିଃଶେଷଣ ଆଲୋକ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଶୋଷଣ ଲାଗି ଘଟୁଛି ବୋଲି ମନେ କରାଯାଇପାରେ) ।

ଉତ୍ତର : 5·63; ପ୍ରାୟ 0·୨

୬ । $\lambda = 1{\cdot}54A^\circ$ ବିଶିଷ୍ଟ ଏକ୍ସରେ ପାଇଁ ନାଇଟ୍ରୋଜେନର ବସ୍ତୁତ୍ୱ-ନିଃଶେଷଣାଙ୍କ $0{\cdot}745 m^2/kg$ । $300^\circ k$ ଓ 1atm ଚାପରେ ଥିବା ନାଇଟ୍ରୋଜେନ ମଧ୍ୟରେ $0{\cdot}85 m$ ଗତି କରିବାରେ ଗୋଟିଏ $1{\cdot}54 A^\circ$ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛର କେତେ ଅଂଶ ନଷ୍ଟ ହେବ ସ୍ଥିର କର ।

୭ । ସିଲ୍‌ଭର୍, କାଡ଼୍‌ମିୟମ୍, ଇଣ୍ଡିୟମ୍ ଓ ଟିନ୍‌ର k ଶୋଷଣ ସୀମା ହେଲା ଯଥାକ୍ରମେ 0·4845, 0·4631, 0·4430 ଓ 0·4239A° γ ରଶ୍ମିର ଗୋଟିଏ ଏକରଙ୍ଗୀ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ Ag, cd ଓ Inର ପାତଳ ପରଦାରେ ଅଳ୍ପ ପରିମାଣରେ ଶୋଷିତ ହୋଇଥାଏ, ମାତ୍ର ପ୍ରାୟ ସେହି ପରିମାଣର ବେଧ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ପାତଳ

Sn ପରଦାରେ ବହୁ ପରିମାଣରେ ଶୋଷିତ ହୋଇଥାଏ । Y ରଶ୍ମିର ଶକ୍ତି ଏହୁ ପରୀକ୍ଷାରେ ଯେଉଁ ଦୁଇ ଶକ୍ତି ମଧ୍ୟରେ ରହିବ —keVରେ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

୮ । $Sr^{88}k\alpha_1$ ଫୋଟନମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ଗୋଟିଏ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ । ($\lambda=0{\cdot}8735\ A^\circ$) ପାତଳ ସୁନା ପରଦା ଉପରେ ପଡ଼ିଲା । ପ୍ରଶ୍ନରେ ଦିଆଥିବା ପରୀକ୍ଷା ଫଳ ବ୍ୟବହାର କରି L_{II} ଓ L_{III} ସ୍ତରମାନଙ୍କରୁ ନିଷ୍କାସିତ ଫଟୋ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ-ମାନଙ୍କର ଗତିଜ ଶକ୍ତି ବାହାର କର ।

୯ । $\lambda=0{\cdot}880A^\circ$ ବିଶିଷ୍ଟ ଏକ୍ସରେ ଅଲୁମିନିୟମ, କପର ଓ ସୀସାରେ ବସ୍ତୁତ୍ୱ—ନିଃଶେଷଣାଙ୍କ ଯଥାକ୍ରମେ $0{\cdot}975$, $9{\cdot}12$ ଓ $13{\cdot}5$ m^2/kg । $0{\cdot}88\ A^\circ$ ଫୋଟନ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛର ତୀବ୍ରତା $\frac{1}{2}$କୁ କମାଇ ଦେବାପାଇଁ ଉକ୍ତ ଧାତୁମାନଙ୍କରୁ ଏକକ କ୍ଷେତ୍ରଫଳରେ ଦରକାର ହେଉଥିବା ବସ୍ତୁତ୍ୱ ପରିମାଣ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର । ଯଦି ସାନ୍ଦ୍ରତା ଯଥାକ୍ରମେ 2700, 8940 ଓ $11{\cdot}350$ kg/m^3 ହୁଏ, ତେବେ ଅର୍ଦ୍ଧ ମୂଲ୍ୟ ପରଦାଗୁଡ଼ିକର ବେଧ କେତେ କେତେ ହେବ ?

୧୦ । $\hat{S}_x=\frac{\hbar}{2}\begin{bmatrix}0 & 1\\ 1 & 0\end{bmatrix}\hat{S}_y=\frac{\hbar}{2}\begin{bmatrix}0 & -i\\ i & 0\end{bmatrix}$

$S_z=\frac{\hbar}{2}\begin{bmatrix}1 & 0\\ 0 & -1\end{bmatrix}$ ହେଲେ ମାଟ୍ରିକ୍ସ ଅପରେଟର

$\hat{S}=\vec{1}_x\hat{S}_x+\vec{1}_y\hat{S}_y+\vec{1}_z\vec{S}_z$ କୁ ବର୍ଣ୍ଣନା କର ।

ସିଧା ପ୍ରମାଣ କରି ଦେଖାଅ ଯେ, $\hat{S}_x$, $\hat{S}_y$, $\hat{S}_z$ କୌଣିକ ସଂବେଗର କମ୍ୟୁଟେସନ ନିୟମ ପାଳନ କରେ ଅର୍ଥାତ୍ $[\hat{S}_x,\hat{S}_y]=i\hbar\hat{S}_z$ । ଦେଖାଅ ଯେ, $\alpha=\begin{bmatrix}1\\ 0\end{bmatrix}$ ଓ $\beta=\begin{bmatrix}0\\ 1\end{bmatrix}$ ଯୁଗପତ୍ ଭାବରେ $\hat{S}^2$ ଓ $\hat{S}_z$ ର ଆଇଗେନ ଫଳନ ଅଟନ୍ତି । ଏମାନଙ୍କର ଅନୁରୂପ ଆଇଗେନ ମୂଲ୍ୟସବୁ ନିରୂପଣ କର ।

ଷୋଡ଼ଶ ଅଧ୍ୟାୟ

ଏକ୍ସରେ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ

ପୂର୍ବ ଅଧ୍ୟାୟରେ ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁ ଗୋଟିଏ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ଓ ଚାରିପଟେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ଗୋଟିଏ ବାଦଲକୁ ନେଇ ଗଠିତ ବୋଲି ଆମେ ଆଲୋଚନା କରିଥାଇଁ । ପ୍ରତ୍ୟେକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ହାଇଡ୍ରୋଜେନରେ ଥିବା ପରି ଗୋଟିଏ କକ୍ଷ ସହିତ ମୋଟାମୋଟି ସଂପୃକ୍ତ ବୋଲି ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ଭାବରେ ଆମେ ଧରି ନେଇଥାଇଁ । ଏହି କକ୍ଷ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ଓ ଅନ୍ୟ ସମସ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଙ୍କର ହାରାହାରି ଚାର୍ଜ ବାଦଲ ଦ୍ୱାରା ସୃଷ୍ଟ କ୍ଷେତ୍ର ଦ୍ୱାରା ନିରୂପିତ । କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଓ ପାଉଲି ଅପବର୍ଜନ ନିୟମରୁ ଆମେ ଅନୁମାନ କରିଛୁ ଯେ, ଯେକୌଣସି ଗୁରୁ ପରମାଣୁର ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ଦୁଇଟି k ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ $(n=1)$, ୮ଟି L ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ $(n=2)$ ଓ ଏହିପରି ଅନ୍ୟ ସବୁ ରହିଅଛି । ଏହି ବ୍ୟାପକତା ଆଲୋକବୈଦ୍ୟୁତିକ ଶୋଷଣରୁ ମିଳୁଥିବା ପରୀକ୍ଷା ଫଳ ସହିତ ମେଳ ଖାଉଛି । ଆମେ ବର୍ତ୍ତମାନ ଭିତର କୋଷମାନଙ୍କରେ ଘଟୁଥିବା ବିଭିନ୍ନ ସଂକ୍ରମଣ ବିଷୟ ଆଲୋଚନା କରିବା ।

16·1 ନିମ୍ନସ୍ଥ ଶକ୍ତିସ୍ତର :

ଏପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ପାରମାଣବିକ ଅବସ୍ଥାସବୁ ବିଚାର କରିବାବେ ଅନନ୍ତ ଦୂରରେ ସ୍ଥିର ଥିବା ଗୋଟିଏ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଶକ୍ତିକୁ ଶୂନ୍ୟ ବୋଲି ଧରି ନିଆଯାଇଅଛି । ତେଣୁ ସମସ୍ତ ବଦ୍ଧ ଅବସ୍ଥାରେ ଏହି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ବିଯୁକ୍ତ ଶକ୍ତି ହେବ । ଆଲୋକର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ଆଲୋଚନାରେ

ଏହାହିଁ ସାଧାରଣ ପ୍ରଣାଳୀ । (ପ୍ରକୃତରେ, ଶକ୍ତିସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ସମସ୍ତ ପରମାଣୁର ଗୁଣ । ଏକ୍ସରେ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଆଲୋଚନା କଲାବେଳେ ଯେତେବେଳେ ପରମାଣୁଟି ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ଥିଲାବେଳେ ତା ର ଶକ୍ତି ପରିମାଣକୁ ଶୂନ୍ୟ ବୋଲି ନିଆଯାଇଥାଏ । ତେବେ ଅନ୍ୟ ସମସ୍ତ ଅବସ୍ଥାରେ ପରମାଣୁର ଶକ୍ତି ଯୁକ୍ତ ହେବ । ଯଦି ଗୋଟିଏ k ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବାହାରି ଯାଇଥାଏ, ପରମାଣୁର ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ଯୁକ୍ତ ହେବ ଓ ଏହା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟିକୁ ନିଷ୍କାସନ କରିବା ଲାଗି ଦରକାର ହେଉଥିବା ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ସହ ସମାନ ।

ଆଉ ମଧ୍ୟ, ଅନେକର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ଆଲୋଚନାରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ମଧ୍ୟରେ ସଂକ୍ରମଣ ବିଷୟରେ କୁହାଯାଇଥାଏ, କିନ୍ତୁ ଏକ୍ସରେ କେବଳ ପାରମାଣବିକ ଅବସ୍ଥା ସବୁ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଏ ଓ ଆମର ଦୃଷ୍ଟି ସାଧାରଣତଃ ଗର୍ତ୍ତ (ଗୋଟିଏ ପୂର୍ଣ୍ଣ ଥିବା କୋଷରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଅଭାବ) ଉପରେ ପଡ଼ିଥାଏ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ଗୋଟିଏ $K-L_{III}$ ସଂକ୍ରମଣରେ ଆରମ୍ଭର K କୋଷରେ ଗୋଟିଏ ଶୂନ୍ୟସ୍ଥାନ ଥିଲା ଓ ଶେଷରେ K କୋଷରେ ଗୋଟିଏ ଶୂନ୍ୟସ୍ଥାନ ହେଲା; ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି L_{III} ଉପକୋଷରୁ K କୋଷକୁ ଗଲା, ବା ଗର୍ତ୍ତର ସଂକ୍ରମଣର ଠିକ୍ ବିପରୀତ ଦିଗରେ କାମ କଲା । ନିଶ୍ଚିତ ଭାବରେ କହିଲେ ଏହା ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ସଂକ୍ରମଣ ବୋଲି ଭାବିଲେ ସବୁକଥା ବୁଝାଯିବନାହିଁ, କାରଣ ଅନ୍ୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ଶକ୍ତି ଅବସ୍ଥାରେ ମଧ୍ୟ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହେବ; ଦୁଇ ଅବସ୍ଥା ପାଇଁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ସ୍ୱର୍ଗ ବାଦଲ ସମାନ ନୁହେଁ ।

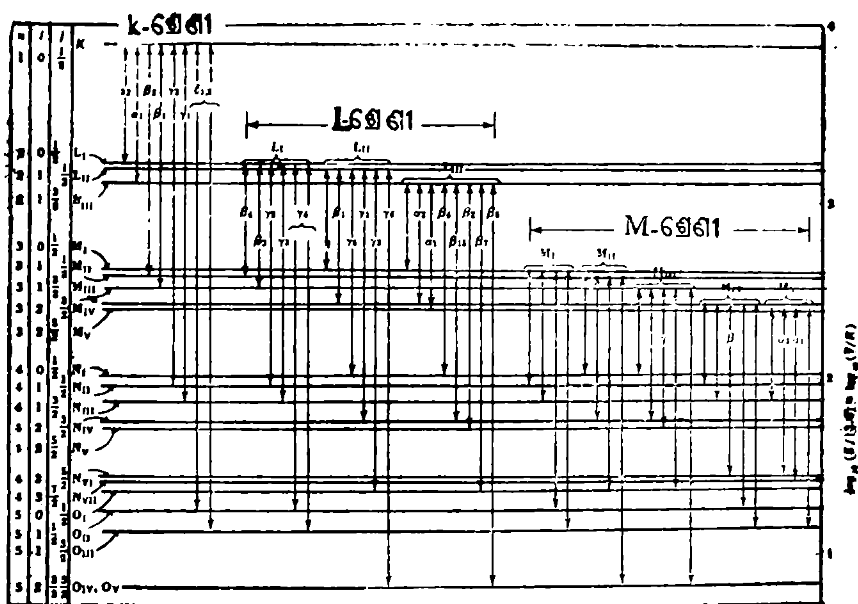
ଶକ୍ତିସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ସମସ୍ତ ପରମାଣୁର ଗୁଣ ହେଲେ ମଧ୍ୟ ଏକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟାସବୁ ଓ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହାଇଡ୍ରୋଜେନର କକ୍ଷସବୁ ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇଥାଏ । ପ୍ରତ୍ୟେକ ପୂର୍ଣ୍ଣ କୋଷ ଓ ଉପକୋଷ ପାଇଁ କକ୍ଷୀୟ, ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଓ ମୋଟ କୌଣିକ ସଂବେଗର ପରିଣାମୀଗୁଡ଼ିକ ଶୂନ୍ୟ ହେବ । ତେଣୁ, ଗୋଟିଏ ପୂର୍ଣ୍ଣ ଥିବା ଉପକୋଷରୁ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ହଜିଗଲେ, ଅବଶିଷ୍ଟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର କକ୍ଷୀୟ, ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଓ ମୋଟ କୌଣିକ ସଂବେଗ ହଜି ଯାଇଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟିର ସେଗୁଡ଼ିକ ସହିତ ସମସମ ହେବ କାରଣ ତାହାର କୋଷଟି ପୂର୍ଣ୍ଣ ହୁଅନ୍ତା । ତେଣୁ j ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ହରାଇଥିବା ଗୋଟିଏ ଉପକୋଷ ପାଇଁ n, l ଓ j ସେହି ଶୂନ୍ୟ ସ୍ଥାନଟିକୁ ପୂର୍ଣ୍ଣ କରୁଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟିର ସେହି ରାଶିଗୁଡ଼ିକ ସହ ସମାନ ।

ଆଲୋକ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଶୋଷଣ ଓ ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ପରୀକ୍ଷାରୁ ମିଳୁଥିବା ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ଫଳାଫଳରୁ ପ୍ରଧାନ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା n ର ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ ପାରମାଣବିକ ଅବସ୍ଥାର ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ସ୍ଥିର କରିବା ସମ୍ଭବ । ଟେବୁଲ ୧୭'୧ରେ

ଟେବୁଲ ୧୭'୧ ସାତଟି ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥର ଏକ୍ସରେ ଶକ୍ତି ସ୍ତର keV

Level	Al^{13}	Cu^{29}	Mo^{42}	Ag^{47}	W^{74}	Pb^{82}	U^{92}
K	1.562	8·996	20·036	25·556	69·637	88·163	115·80
L_I	0·1154	1·104	2·872	3·811	12·115	15·892	21·795
L_{II}	0·00730	0·935	2·633	3·529	11·559	15·231	20·974
L_{III}	0·00727	0·955	2·528	3.356	10·219	13·061	17·193
M_I		0·122	0·509	0·718	2·821	3·860	5·556
M_{II}		0 078	0·413	0·603	2·574	3·566	5·187
M_{III}		0 0·76	0·396	0·572	2·279	3·076	4·306
M_{IV}		{0·003	0·234	0·373	1·870	2·591	3·725
M_V			0·231	0·367	1·807	2·482	3·556

λ ଆଙ୍ଗଷ୍ଟ୍ରମ୍ ଏକକରେ 12·398 KeV ଶକ୍ତିର ସମାନ ।



[ଚିତ୍ର ୧୬·୧ U^{92} ପାଇଁ ଏକ୍ସରେ ଶକ୍ତିସ୍ତର ଚିତ୍ର । ବର୍ଜ୍ଜନ ନିୟମ $\Delta l = \pm 1$, $\Delta j = 0, \pm 1$ ପାଇଁ ଅନୁମୋଦିତ ସଂକ୍ରମଣ ସବୁ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି ।

ସାତଟି ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ ପାଇଁ ମୂଲ୍ୟସବୁ ଦିଆଯାଇଅଛି ଓ ଚିତ୍ର ୧୬·୧ ସୂଚୀନିୟମର ଏକ୍ସରେ ସ୍ତରମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଶକ୍ତି ଦେଖାଉଛି (ଏହା $\log \bar{\nu}/R$ରେ ଦିଆଯାଇଅଛି, ଏହା $\log (E$ eVରେ$/13.6)$ ସହ ସମାନ] । ସର୍ବାପେକ୍ଷା ବଳବତ୍ତର ବର୍ଜ୍ଜନଶୀଳ ସଂକ୍ରମଣ ମଧ୍ୟ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି ।

16·2 ସ୍ୱଧର୍ମୀ ଏକ୍ସରେ ରେଖା :

ଚିତ୍ର ୧୬·୧ରେ ଦିଆଥିବା ଶକ୍ତି ସ୍ତର ଅନୁସାରେ ଆମେ ଆଶା କରି ପାରିବା ଯେ, Kଠାରୁ Lକୁ ସଂକ୍ରମଣ ପାଇଁ ତିନଗୋଟି ରେଖା ମିଳିବା ଉଚିତ, Kଠାରୁ Mକୁ ସଂକ୍ରମଣ ପାଇଁ 5ଟି ରେଖା ଓ ଏହିପରି ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ରେଖାସବୁ ମଧ୍ୟ ମିଳିବା ଉଚିତ; କିନ୍ତୁ

ଏକ୍ସରେ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମକୁ ଭଲ ଭାବରେ ଲକ୍ଷ୍ୟ କଲେ ଦେଖାଯିବ ଯେ, କେବଳ ଦୁଇଟି $K \rightarrow L$ ସଂକ୍ରମଣ ଓ ଦୁଇଟି $K \longrightarrow M$ ସଂକ୍ରମଣ ରହିଅଛି । ସ୍ତରମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସଂକ୍ରମଣ ସମ୍ଭବ ହେବ, ଯଦି କେବଳ କେତେକ ବଛା ନିୟମର ସର୍ତ୍ତ ପୂରଣ ହୁଏ । ଏକ୍ସରେରେ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଦ୍ୱିମେରୁ ବିକିରଣ ପାଇ ବଛା ନିୟମ ହେଲା (ସମସ୍ତ ଉଜ୍ଜ୍ୱଳ ରେଖା ଏହି ପ୍ରକାରର)

$$\Delta l = \pm 1 \qquad (୧୬.୧କ)$$

ଓ

$$\Delta j = 0 \pm 1 \qquad (୧୬.୧ଖ)$$

ଯେଉଁ ସଂକ୍ରମଣଗୁଡ଼ିକ ଲାଗି $\Delta n = 0$, ସେଗୁଡ଼ିକ ଏକ୍ସରେ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ କ୍ୱଚିତ ଦେଖାଯାଏ; ଏଗୁଡ଼ିକ ଆଲୋକ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ଅତି ସାଧାରଣ । L ଯେ ± 1 ଦ୍ୱାରା ଓ j ଯେ 0 ବା ± 1 ଦ୍ୱାରା ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହେବ, ତାହା ଗୋଟିଏ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଦ୍ୱିମେରୁ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଦୁଇ ଅବସ୍ଥା ମଧ୍ୟରେ ସଂକ୍ରମଣ ସମ୍ଭାବନାକୁ ତରଙ୍ଗ ଯାନ୍ତ୍ରିକ ପ୍ରଣାଳୀରେ ହିସାବ କଲେ ପ୍ରାକୃତିକ ପ୍ରଣାଳୀରେ ବାହାରିଥାଏ (ଅନୁ: ୧୩.୧୦) ।

ଉଜ୍ଜ୍ୱଳ ଏକ୍ସରେ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ସାଙ୍ଗକୁ (ଏ ସମସ୍ତ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଦ୍ୱିମେରୁ ସଂକ୍ରମଣରୁ ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଥାଏ) କେତେକ ଦୁର୍ବଳ ରେଖା ମଧ୍ୟ ମିଳିଥାଏ; ଏଗୁଡ଼ିକ ଚୁମ୍ବକୀୟ ଦ୍ୱିମେରୁ ଓ ବୈଦ୍ୟୁତିକ-ଚତୁଃମେରୁ ସଂକ୍ରମଣରୁ ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଥାଏ — ଏଥିପାଇଁ ତରଙ୍ଗ ଯାନ୍ତ୍ରିକ ଭିନ୍ନ ବଛା ନିୟମ ଦେଇଥାଏ । ଅନ୍ୟ ଦୁର୍ବଳ ରେଖାସବୁ ଦ୍ୱି-ଆୟନନ ଅବସ୍ଥା ମଧ୍ୟରେ ସଂକ୍ରମଣ ଲାଗି ଜନ୍ମିଥାଏ (ଅନୁ: ୧୬.୭) ।

ଏକ୍ସରେ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ ସର୍ବସମ୍ମତ କୌଣସି ନାମ ନାହିଁ । ତେବେ, ଚିତ୍ର ୧୬.୧ରେ ଦିଆଥିବା ନାମ ବହୁ ପରିମାଣରେ ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇଥାଏ । ଅତି ଉଜ୍ଜ୍ୱଳ ରେଖାଗୁଡ଼ିକୁ ଛାଡ଼ିଦେଲେ ସଂକ୍ରମଣକୁ ଚିହ୍ନାଇବା ପାଇଁ ପ୍ରାରମ୍ଭିକ ଓ ଶେଷ ପାରମାଣିକ ସ୍ତର ଲେଖିବା ପ୍ରଚଳିତ ପ୍ରଥା (ଓ ଏହା ସର୍ବଦା ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ କରି ଦେଉଥାଏ) । ସାଧାରଣରେ ପ୍ରଚଳିତ ନାମକରଣ ପ୍ରଥା ନିମ୍ନରେ ଦିଆଗଲା । ପ୍ରଥମେ ସ୍ତରଟିକୁ (K, L, M ପ୍ରଭୃତି ଦିଆଯାଏ, ଏହା ପ୍ରାରମ୍ଭିକ ଅବସ୍ଥାର n ସୂଚାଏ । ତାପରେ ସ୍ୱଳ୍ପ ବର୍ଣ୍ଣଜନରେ ସିରିଜ୍‌ର

ଦେଖାଯାଉଥିବା ଉଜ୍ଜ୍ୱଳତମ ରେଖାକୁ α, ତା'ଠାରୁ କିଛିଏ କମ୍ ଉଜ୍ଜ୍ୱଳରେଖାକୁ β ଓ ଏହିପରି ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ନାମ ଦିଆଯାଇଥାଏ । ଅଧିକ ବିଶ୍ଳେଷଣରେ α ରେଖା ସାଧାରଣତଃ ଗୋଟିଏ ଦ୍ୱିଧାର ରେଖା, ଏଥିରୁ ଯେଉଁଟି ଅଧିକ ଉଜ୍ଜ୍ୱଳ ତାକୁ α_1 ଓ ଯେଉଁଟି କମ୍ ଉଜ୍ଜ୍ୱଳ ତାକୁ α_2 କୁହାଯାଏ । L ସିରିଜ୍‌ରେ β_1 ରେଖା ତା ତଳକୁ ଉଜ୍ଜ୍ୱଳତମ ରେଖା । ଏକା ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ପରିସର ମଧ୍ୟରେ ବହୁତ ଦୁର୍ବଳ ରେଖା ଦେଖାଯାଏ; ଏଗୁଡ଼ିକୁ କୁହାଯାଏ β_2 $\beta_3 \cdots\cdots \beta_{15}$ । ଏହି ପ୍ରଣାଳୀରେ Y ରେଖାଗୁଡ଼ିକୁ ନାମ ଦିଆଯାଇଥାଏ । ଅଳ୍ପ ଉଜ୍ଜ୍ୱଳ ରେଖାଗୁଡ଼ିକର ଅବସ୍ଥାନ ଗୋଟିଏ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥରୁ ଅନ୍ୟ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥକୁ ଗଲେ ତଫାତ୍ ହୋଇଯାଏ ଏବଂ ଯେଉଁ ବ୍ୟାଖ୍ୟାସୂଚକ ପ୍ରଣାଳୀ ଗୋଟିଏ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ ପାଇଁ ଅତ୍ୟନ୍ତ ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ମନେ ହୁଏ, ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ ପାଇଁ ତାହା ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଗୋଳମାଳିଆ ବୋଲି ମନେ ହୋଇଥାଏ ।

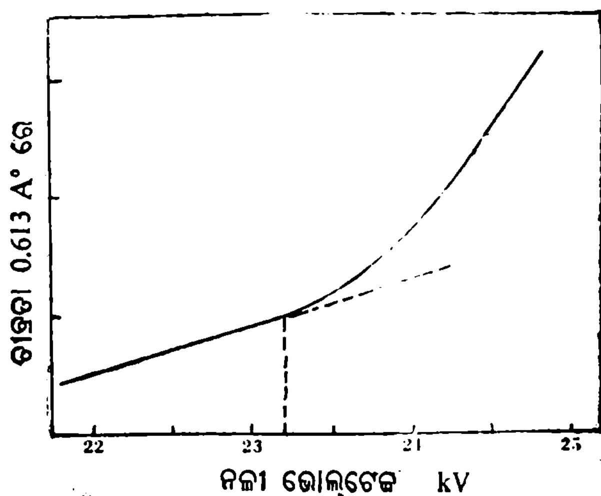
$K \rightarrow L_{III}$ ସଂକ୍ରମଣରୁ ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁ ପାଇଁ $K\alpha_1$ ରେଖା ଜନ୍ମିଥାଏ, ଗୋଟିଏ L_{III} ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ K କୋଷରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ ଶୂନ୍ୟସ୍ଥାନକୁ ଡେଇଁବାଦ୍ୱାରା ଏହାର ଜନ୍ମ । ଗୋଟିଏ L_{II} ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗୋଟିଏ K ଶୂନ୍ୟତା ପୂରଣ କରିବା ଦ୍ୱାରା $K\alpha_2$ ରେଖା ସୃଷ୍ଟି । ଯେହେତୁ ଚାରୋଟି $(2j+1)$ L_{III} ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଓ ଦୁଇଟି L_{II} ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଅଛି, ଜଣେ ଅନୁମାନ କରିବ ଯେ, $K\alpha_1$ ରେଖା $K\alpha_2$ ରେଖା ଅପେକ୍ଷା ଦୁଇଗୁଣ ଉଜ୍ଜ୍ୱଳ ହେବ, ଏହି ଅନୁମାନ ପରୀକ୍ଷାରୁ ଠିକ୍ ବୋଲି ପ୍ରମାଣିତ ହୋଇଅଛି । ସେହିପରି $K\beta_1$ ରେଖା $(K \rightarrow M_{III})$ $K\beta_3$ $(K \rightarrow M_{II})$ ରେଖାଠାରୁ ଦୁଇଗୁଣ ଉଜ୍ଜ୍ୱଳ, ଏଠାରେ ମଧ୍ୟ ପରିସଂଖ୍ୟାନ ଓଜନ $(2j+1)$ 4 : 2 ଅନୁପାତରେ ରହେ । ତେବେ, ପରିସଂଖ୍ୟାନ ଓଜନ ପାଇଁ ଏହି ସରଳ ଅନୁପାତ ଦୁଇଟି ରେଖାର ଉଜ୍ଜ୍ୱଳତା ପ୍ରାପ୍ତ ଏକା ହୋଇଥାଏ । କିନ୍ତୁ L_{III} ଓ M_{III} ଉଭୟଙ୍କର ପରିସଂଖ୍ୟାନ ଓଜନ 4 ହେଲେ ମଧ୍ୟ $K\alpha_1$ ରେଖା $K\beta_1$ ରେଖାଠାରୁ ବହୁତ ବେଶୀ ଉଜ୍ଜ୍ୱଳ ହୁଏ; ଗୋଟିଏ L ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ K ଶୂନ୍ୟତା ପୂରଣ କରିବାର ସମ୍ଭାବନା ଗୋଟିଏ M ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଅପେକ୍ଷା ବହୁତ ବେଶୀ । କେତେକ L ଓ M ଏକ୍ସରେ ରେଖାଙ୍କର ଆପେକ୍ଷିକ ତୀବ୍ରତା ବର୍ଗର ଓର୍ଣ୍ଣଷ୍ଟେ-ଅର୍ନ୍ଷ୍ଟେଇନ ଯୋଗ ନିୟମ (ଅନୁ' ୧୭'୬) ଅନୁସାରେ ହିସାବ କରିହେବ ।

16·3 ଏକ୍ସରେ ସ୍ତରମାନଙ୍କର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଉତ୍ତେଜନା :

ଏକ୍ସରେ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର ତତ୍ତ୍ୱର ପ୍ରଥମ ପରୀକ୍ଷାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ 1916 ମସିହାରେ ୱେବଷ୍ଟରଙ୍କ ଦ୍ୱାରା କରାଯାଇଥିଲା । ସେ ଗୋଟିଏ ରୁଡିୟମ ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁ ବ୍ୟବହାର କରି ଅଘାତକାରୀ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ଶକ୍ତି ବଢ଼ାଇଲେ ଓ ରୁଡ଼ିୟମ୍‌ର $K\alpha_1$ ରେଖା 0·613A°ଠାରେ ଦେଖିଲେ । ଏହି ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟଠାରେ ଏକ୍ସରେ ବିକିରଣର ତୀବ୍ରତାକୁ ଟିଉବ୍‌ର ଭୋଲ୍‌ଟର ଫଳନ ଭାବରେ ଚିତ୍ର ୧୬·୨ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଏହିପରି ଚିତ୍ରକୁ ଏକରଙ୍ଗୀୟ ବୋଲି କୁହାଯାଇଥାଏ । ଚିତ୍ରରୁ ଦେଖାଯାଉଛି ଯେ, ଟିଉବ୍‌ର ଭୋଲ୍‌ଟ ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଏହା କ୍ରମେ କ୍ରମେ ବଢ଼ୁଅଛି, 23·2kVଠାରେ ଏହା ହଠାତ୍ ଖୁବ୍ ବେଗରେ ବଢ଼ିଯାଉଅଛି । ଏହା ନିମ୍ନ ଉପାୟରେ ସହଜରେ ପରୀକ୍ଷା କରାଯାଇପାରେ । 23·2kV ତଳକୁ 0·613A°ଠାରେ ତୀବ୍ରତା ଅବଚ୍ଛିନ୍ନ ଏକ୍ସରେ ବିକିରଣ ଲାଗି ହୋଇଥାଏ, ଏହି ଏକ୍ସରେ ବିକିରଣ ଭୋଲ୍‌ଟ ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେସଙ୍ଗେ ବଢ଼ିଥାଏ, ଅନୁ: ୭·୮ରେ ଏହା ଆଲୋଚିତ ହୋଇଅଛି । ଏହା ରୁବିଡିୟମର ସ୍ୱଧର୍ମୀ ବିକିରଣ ନୁହେଁ; ରୁବିଡିୟମର ପାରମାଣିକ ସଂଖ୍ୟାର ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ ଯେକୌଣସି ପାରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା ବିଶିଷ୍ଟ ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁ ନେଲେ ଏହାହିଁ ଦେଖାଯିବ । 23·2kVଠାରେ ଆପତନ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ରୁବିଡିୟମ ପରମାଣୁରୁ K ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ନିଷ୍କାସନ କରିବାପାଇଁ ଯଥେଷ୍ଟ ଶକ୍ତି ମିଳିଯାଉଅଛି । K କୋଷରେ ଶୂନ୍ୟତା ସୃଷ୍ଟି ହେବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଅନ୍ୟ ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କରୁ ସଂକ୍ରମଣ ହେଉଛି । ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଭାବରେ କହିଲେ, L_{III} ସ୍ତରରୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସବୁ K କୋଷକୁ ସଂକ୍ରମିତ ହେଉଛନ୍ତି ଓ ରୁବିଡିୟମର $K\alpha_1$ ରେଖା ଦେଉଛନ୍ତି । ଅଘାତକାରୀ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ଶକ୍ତି ବୃଦ୍ଧି ହେବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ, ନିଷ୍କାସିତ ହେଉଥିବା K ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସଂଖ୍ୟା ଅତି ବେଗରେ ବଢ଼ିଯାଏ ଓ $K\alpha_1$ ରେଖାର ତୀବ୍ରତା ଶୀଘ୍ର ଭାବରେ ବଢ଼ିଯାଏ ।

ରୁବିଡିୟମର $K\alpha_1$ ରେଖାର ଫୋଟନଗୁଡ଼ିକର ଶକ୍ତି 23·2 KeV ନ ହୋଇ 20·1 KeV ହୋଇଥାଏ । ଏ ଦୁଇ ଶକ୍ତିର ଅନ୍ତର 3·1KeV $L^1{}_1$ ସ୍ତରର ଶକ୍ତି ଅଟେ । K ରେଖାଗୁଡ଼ିକୁ ଉତ୍ତେଜିତ କରିବାପାଇଁ K କୋଷରୁ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ନିଷ୍କାସନ କରିବା ଦରକାର । ଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ କୌଣସି ପୂର୍ଣ୍ଣ ଥିବା ସ୍ତରକୁ ଯାଇ ପାରିବନାହିଁ; ସେଗୁଡ଼ିକ ହୁଏତ ପରମାଣୁରୁ ପୁରାପୁରି ବାହାରିଯିବ ବା ଅଣଲୋକସ୍ତର ମଧ୍ୟରୁ

ଗୋଟିକୁ ଯିବ । ସମସ୍ତ Rh K ରେଖାପାଇଁ ଉତ୍ତେଜକ ବିଭବ ଠିକ୍ ସମାନ, କାରଣ ପ୍ରତ୍ୟେକ କ୍ଷେତ୍ରରେ K କୋଷରୁ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବିତାଡ଼ନ କଲେ ଯାଇଁ K ରେଖାଟିଏ ଉଦ୍ଭବ ହେବ । ଏକ୍ସରେ କ୍ଷେତ୍ରରେ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନେ ଯେଉଁ ଆବୃତ୍ତି



[ଚିତ୍ର ୧୬·୨ ରୁବିଡିୟମର Kα ରେଖାର ତୀବ୍ରତାକୁ ଏକ୍ସରେ ଟିଉବର ବିଭବ ଅନ୍ତରର ଫଳନ ଭାବରେ ଦେଖାଉଥିବା ଏକରଙ୍ଗୀୟ]

ବିକିରଣ କରନ୍ତି, ସେହି ଆବୃତ୍ତି ଅଧିକ ପରିମାଣରେ ଶୋଷଣ କରନ୍ତିନାହିଁ । ଏହା ଆଲୋକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଘଟୁଥିବା ଘଟଣା ବିରୁଦ୍ଧାଚରଣ । ଏହାର କାରଣ ଅତି ସରଳ; ଆଲୋକ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସବୁ ଉଚ୍ଚତର ସ୍ତରମାନଙ୍କରେ ଶୂନ୍ୟସ୍ଥାନମାନଙ୍କୁ ଯାଇଥାନ୍ତି ଓ ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାକୁ ଫେରି ଆସନ୍ତି; ଏକ୍ସରେ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ୍‌ରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକୁ ଅପୂର୍ଣ୍ଣ ସ୍ତରକୁ ନେବାକୁ ହେବ । ଏକ୍ସରେ ସ୍ତରରେ ଯେତେବେଳେ କୌଣସି ଶୂନ୍ୟସ୍ଥାନ ଥାଏ, ତାହା ଗୋଟିଏ ମଝିଲ ସ୍ତରରୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଯାଇ ପୂରଣ କରିବାର ସମ୍ଭାବନା ଅଧିକ ଥାଏ ।

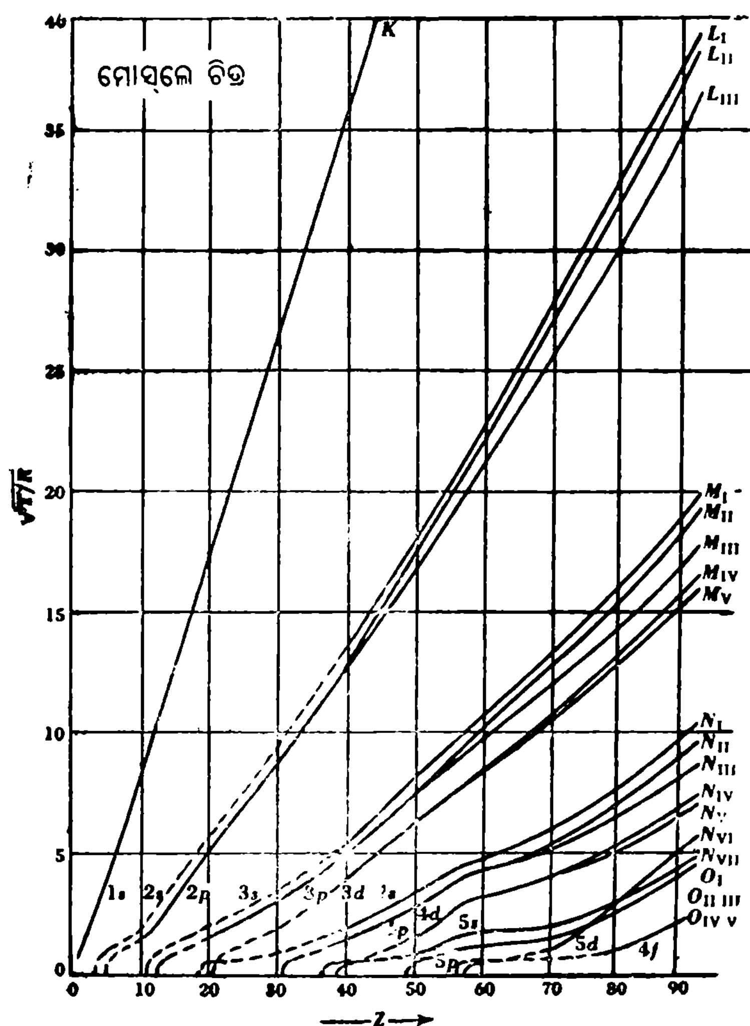
ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ଏକ୍ସରେ ରେଖାମାନଙ୍କ ପାଇଁ ବହୁ ଏକରଙ୍ଗୀୟ ଟଣାଯାଇଅଛି । ଏଥିରୁ ମିଳୁଥିବା ଫଳାଫଳ ନିମ୍ନସ୍ଥ ପାରମାଣବିକ ଶକ୍ତି ସ୍ତରମାନଙ୍କର ଶକ୍ତି ପରିମାପ ପାଇଁ ଉଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ପରୀକ୍ଷାମାନଙ୍କର ଫଳ ସହିତ ବେଶ୍ ଖାପ ଖାଉଛି ।

1୬·4 ଏକ୍ସରେ ଦ୍ୱିଧାର ଓ ଆବରଣ ଧ୍ରୁବ :

ପଣ୍ଡ ଭିତର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସ୍ତରର ଶକ୍ତି ପାରମାଣିକ ସଂଖ୍ୟା ସହ ଯେପରି ଭାବରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୁଏ, ତାହା ଚିତ୍ର ୧୬·୭ରେ ମୋସଲେ ଚିତ୍ରରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ସେଥି ମଧ୍ୟର ଗୋଟିଏ ପ୍ରଧାନ କଥା ହେଲା, $L_{II}-L_{III}$, $M_{II}-M_{III}$, $M_{IV}-M_{V}$ ପ୍ରଭୃତି ସ୍ତରମାନଙ୍କ ପାଇଁ ମୋସ୍‌ଲେ ରେଖାମାନଙ୍କର ଅନ୍ତର Zର ବୃଦ୍ଧି ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ନିଶ୍ଚିତ ଭାବରେ ବଢ଼ି ଯିବେ, କିନ୍ତୁ L_I-L_{II}, M_I-M_{II}, $M_{III}-M_{IV}$ ପ୍ରଭୃତି ସ୍ତରମାନଙ୍କ ପାଇଁ ରେଖାମାନଙ୍କର ଅନ୍ତର ମୋଟାମୋଟି ଧ୍ରୁବ ରହେ । L_I-L_{II}, M_I-M_{II},·· ଅନ୍ତରକୁ ଆବରଣ ଦ୍ୱିଧାର କୁହାଯାଏ ଓ ଏଗୁଡ଼ିକ ଏକା n, s ଓ j କିନ୍ତୁ ଭିନ୍ନ l ମୂଲ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ସ୍ତରମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଅନ୍ତର । $L_{II}-L_{III}$, $M_{II}-M_{III}$ ··ଅନ୍ତରଗୁଡ଼ିକୁ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଆପେକ୍ଷିକ ଦ୍ୱିଧାର ବା ନିୟମିତ ଦ୍ୱିଧାର କୁହାଯାଏ, ଏଗୁଡ଼ିକ ଏକା n, l ଓ s କିନ୍ତୁ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ j ବିଶିଷ୍ଟ ସ୍ତରମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଅନ୍ତର ।

ଦ୍ୱିଧାର ଅନ୍ତରେ ସାଧାରଣ ଘଟଣା ଅର୍ଦ୍ଧପାରମାଣିକ ଭାବରେ ସରଳ ସୂତ୍ର ସାହାଯ୍ୟରେ ବୁଝାଇ ଦିଆଯାଇପାରିବ । ଗୋଟିଏ ସ୍ତରର ଶକ୍ତି ଯଦି ନିଉକ୍ଲିୟସ ଓ ଗୋଟିଏ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବାଦଲର ହାରାହାରି ପୂର୍ଣ ସାନ୍ଦ୍ରତା ସହ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାଦ୍ୱାରା ନିୟନ୍ତ୍ରିତ ହୁଏ, ସ୍ତରଟିର ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ପ୍ରଥମ ଆସନ୍ନରେ $E_n = -Rhc(Z-\sigma_1)^2/n^2$ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରିବ । ଏଠାରେ σ_1 ଗୋଟିଏ ଆବରଣ ଧ୍ରୁବ, ଏହା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବାଦଲର ପ୍ରଭାବ ହିସାବକୁ ନେଉଛି, ତେଣୁ $Z-\sigma_1$ ହେଲା କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ନିଉକ୍ଲିୟର ଚାର୍ଜ ।

$j=l+\frac{1}{2}$ ଓ $j=l-\frac{1}{2}$ ପାଇଁ ଗୋଟିଏ n, l ସ୍ତର ଦୁଇଟି ସୂକ୍ଷ୍ମ ଗଠନ ସ୍ତରରେ ଭାଙ୍ଗିଯିବା ଘୂର୍ଣ୍ଣନକକ୍ଷ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଲାଗି ଘଟିଥାଏ; ଏହାପାଇଁ ସମୀକରଣ (୧୪·୨୭) ଠିକ୍ ଲାଗେ—ଅବଶ୍ୟ ଏଥିରେ Z ସ୍ଥାନରେ $Z-\sigma_2$ ଲେଖିବାକୁ ହୋଇଥାଏ, ଏଠାରେ σ_2ଟି σ_1ଠାରୁ ସାନ ଓ ଏହା ଗୋଟିଏ ଆବରଣ ଧ୍ରୁବ । σ_2 ସାନ ହୁଏ, କାରଣ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କକ୍ଷ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ପାଇଁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ଅନୁଭବ କରୁଥିବା ମୋଟ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ତୀବ୍ରତା ପ୍ରଧାନ ଅଟେ, ଶକ୍ତି ପ୍ରଧାନ କଥା ନୁହେଁ । ବହିର୍ବଧୀନ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବାହାରେ



[ଚିତ୍ର ୧୬·୩ ଏକ୍ସରେ ସ୍ତରମାନଙ୍କ ପାଇଁ ମୋସଲେ ଚିତ୍ର । ଏଠାରେ T ହେଲା ତରଙ୍ଗସଂଖ୍ୟା ଏକକରେ ପଦ ମୂଲ୍ୟ; $\sqrt{T/R} = \sqrt{E/136}$ ଏଠାରେ E ହେଲା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଖୋଲ୍‌ଟରେ ସ୍ତରର ଶକ୍ତି]

ଥିବାଃ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସାମଗ୍ରିକ କୋଣ ଶକ୍ତି ଦୃଷ୍ଟିରୁ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ଚାର୍ଜ କମାଇଥିଲେ ମଧ୍ୟ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ସଂକ୍ରିୟା ଦୃଷ୍ଟିରୁ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ଚାର୍ଜକୁ କମାଇବାରେ କୌଣସି ଅଂଶ ଗ୍ରହଣ କରେନାହିଁ । ଆପେକ୍ଷିକ ସଂଶୋଧନ ପାଇଁ ବ୍ୟବହୃତ ସମୀକରଣ (୧୪.୧୬)ରେ Z ସ୍ଥାନରେ $Z-\sigma_2$ ଲେଖା ହେବା ଦରକାର, ତାହେଲେ ସମୀକରଣ (୧୪.୧୬) ଏପରିକି $l=0$ ପାଇଁ ମଧ୍ୟ ଗ୍ରହଣୀୟ ଆସନ୍ନମାନ ଦେବ । ଯେତେବେଳେ ହ୍ରାସପ୍ରାପ୍ତ E_n ସହିତ ଆପେକ୍ଷିକ ଓ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କକ୍ଷ ସଂଶୋଧନ ଯୋଗ କରାଯିବ, n, l, j ଦ୍ୱାରା ସୂଚିତ ବୋଟିଏ ଏକକରେ ସ୍ତରର ଶକ୍ତି E_{nlj} ହେବ,

$$E_{nlj} = -Rhc\left\{\frac{(Z-\sigma_1)^2}{n^2} - \frac{\alpha^2(Z-\sigma_2)^4}{n^3}\left[\frac{3}{4n} - \frac{1}{l+\frac{1}{2}} + \frac{j(j+1)-l(l+1)-s(s+1)}{2l(l+\frac{1}{2})(l+1)}\right]\right\} \qquad (୧୬.୨)$$

ଏଠାରେ $\alpha = \frac{1}{137}$ (ଆହୁରି ଅଧିକ ସୂକ୍ଷ୍ମ ଗଣନାରେ α'ର ଉଚ୍ଚତର ଶକ୍ତିରେ ଅନ୍ୟ ପଦସବୁ ମିଳିବ) । ଆମେ ବର୍ତ୍ତମାନ ବିଭିନ୍ନ ଦ୍ୱିଧାର ଅନ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ବୁଝାଇବା ଅବସ୍ଥାରେ ପହଞ୍ଚୁଥାଇଁ ।

(କ) ନିୟମିତ-ଦ୍ୱିଧାର ନିୟମ :

ଦୁଇଟି ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-ଆପେକ୍ଷିକ ଦ୍ୱିଧାର ମଧ୍ୟରେ ଶକ୍ତିର ତାରତମ୍ୟ ΔE, $Z-\sigma_2$ର ଚତୁର୍ଥ ଶକ୍ତିକୁ ଅନୁପାତୀ, ଏଠାରେ σ_2 ହେଲା ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-କକ୍ଷ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ପାଇଁ ଉପଯୁକ୍ତ ଆବରଣ ଧ୍ରୁବ । ଦୁଇଟି ସ୍ତର ଅବସ୍ଥା କେବଳ jରେ ପ୍ରଭେଦ ହେଲେ ସେମାନେ ଏକା "କକ୍ଷ"ର ଓ ସମୀକରଣ (୧୬.୨)ରେ ସେମାନଙ୍କ ପାଇଁ ପ୍ରଥମ ପଦଗୁଡ଼ିକ ଏକା । jକୁ 1 ବୃଦ୍ଧି କଲେ ଏହା ସ୍ପଷ୍ଟ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ $(Z-\sigma_2)^4$କୁ ଅନୁପାତୀ ଭାବରେ ବଢ଼ିଥାଏ । ଯେହେତୁ ବହୁବାଧୀନ ଥିବା କକ୍ଷ ମଧ୍ୟସ୍ଥ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ହିଁ σ_2କୁ ପ୍ରଭାବିତ କରିଥାନ୍ତି, σ_2ଟି Zର ଅନୁବର୍ତ୍ତୀ ହେବନାହିଁ ବୋଲି ଆଶା କରାଯାଇପାରେ । କିନ୍ତୁ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସଠାରୁ ଦୂରକୁ ଥିବା ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷଗୁଡ଼ିକୁ ଗଲେ σ_2 ବଢ଼ିଯାଏ । σ_2, $L_{II, III}$, ପାଇଁ 3·5; $M_{II, III}$, ପାଇଁ 8·5; $M_{IV, V}$ ପାଇଁ 13; $N_{II, III}$, ପାଇଁ 17; $N_{IV, V}$ ପାଇଁ 24 ଓ $N_{VI, VII}$ ପାଇଁ 34 ବୋଲି ସମରଫିଲ୍ଡ ସ୍ଥିର କରିଥିଲେ ।

(ଖ) ଆବରଣ-ଦ୍ୱିଧାର ନିୟମ :

1920ରେ ହର୍ଜ ଦେଖିଲେ ଯେ, ଦୁଇଟି ଆବରଣ-ଦ୍ୱିଧାର ସ୍ତରର ଶକ୍ତିର ବର୍ଗମୂଳ ମଧ୍ୟରେ ତାରତମ୍ୟ ପ୍ରଧାନତଃ Zର ଅନୁବର୍ତ୍ତୀ ନ ହୋଇଥିବା ଏକ ଧ୍ରୁବ । ଏହି ଉକ୍ତିକୁ ବେଳେବେଳେ ଅନିୟମିତ ଦ୍ୱିଧାର ନିୟମ କୁହାଯାଏ । ଏହା ମୋଟାମୋଟି ଭାବରେ ଠିକ୍ ହୁଏ । ଏହି ତାରତମ୍ୟ ଅତି ଆସ୍ତେ ଆସ୍ତେ Z ସହ ବଢ଼ିଯାଇଥାଏ । ସମୀକରଣ (୧୬·୨)ରୁ ଏହି ନିୟମ ପାଇବାପାଇଁ ଆମେ α^2 ଥିବା ସମସ୍ତ ସଂଶୋଧନକୁ ଅବହେଳା କରିବା ଏବଂ ଦୁଇଟି ସ୍ତର a ଓ b ପାଇଁ ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ପାଇବା

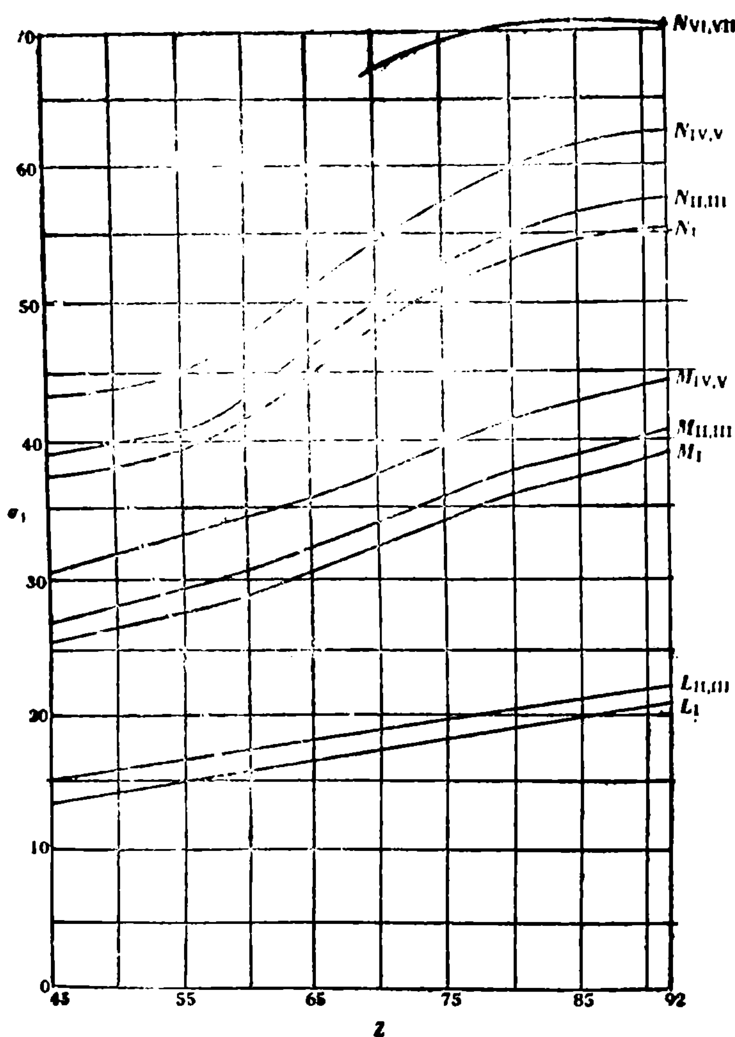
$$\sqrt{-E_a} = \sqrt{Rhc}\,\frac{(Z-\sigma_1)_a}{n} \qquad \sqrt{-E_b} = \sqrt{Rhc}\,\frac{(Z-\sigma_1)_b}{n}$$

a ଓ b ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ କକ୍ଷର ହୋଇଥିବାରୁ, σ_1 ଦୁଇ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ଏବଂ ଆମେ ପାଇବା $\Delta\sqrt{E} = \sqrt{-E_a} - \sqrt{-E_b} = \sqrt{Rhc}\,\Delta\sigma_1/n$, ଯେଉଁଠାରେ $\Delta\sigma_1$ ହେଲା ଆବରଣ ଧ୍ରୁବମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଅନ୍ତର । ଆମେ ଯେପରି ଆଶା କରୁଥାଉଁ ସେପରି σ_1ଟି Z ସହ ବଢ଼ିଥାଏ (ଚିତ୍ର ୧୬·୪) । N ରେଖାମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଅବନତିର ପରବର୍ତ୍ତନ $57<Z<72$ ପାଇଁ 4f କୋଷ ପୂର୍ଣ୍ଣ ହେବା ସଙ୍ଗେ ସଂପୃକ୍ତ ।

16·5 ପ୍ରତିଦୀପ୍ତି ଉତ୍ପାଦନ ଓ ଅଗର ପ୍ରଭାବ :

ଏ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଆମେ ଗୋଟିଏ ମାତ୍ର ବାଟରେ ଉତ୍ତେଜିତ ପରମାଣୁ ନିମ୍ନ ଶକ୍ତି ଅବସ୍ଥାକୁ ଯିବାର ଆଲୋଚନା କରିଥାଉଁ । ଏହା ହେଲା, ଗୋଟିଏ ଫୋଟନର ବିକିରଣ, କିନ୍ତୁ ଏହା କେବେହେଲେ ଏକମାତ୍ର ସମ୍ଭାବନା ନୁହେଁ । ଏପରିକି 1909ରୁ ବାର୍କ୍‌ଲାର୍ ଲକ୍ଷ୍ୟ କରିଥିଲେ ଯେ, ଧାତୁରୁ ବିକିରିତ K ଫୋଟନର ସଂଖ୍ୟା ଧାତୁରେ ସୃଷ୍ଟି ହେଉଥିବା K ଶୂନ୍ୟତା ସଂଖ୍ୟାର ଏକ ଭଗ୍ନାଂଶରୁ କମ୍ । ଯଦି କୌଣସି ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥର K କୋଷରୁ n_0 ସଂଖ୍ୟକ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ନିଷ୍କାସିତ ହୁଅନ୍ତି ଓ ଏହା ଫଳରେ n_p K ଫୋଟନ ବିକିରିତ ହୁଅନ୍ତି, K ପ୍ରତିଦୀପ୍ତି ଉତ୍ପାଦନ w_kର ସଂଜ୍ଞା ହେବ,

$$w_k = \left(\frac{n_p}{n_0}\right)_k \qquad (୧୬·୩)$$



[ଚିତ୍ର ୧୪'୪ ପାରମାଣିକ ସଂଖ୍ୟାର ଫଳନ ସ୍ୱରୂପରେ ଆବରଣ ଧ୍ରୁବ σ_1
[(After Sommerfeld)]

ଅନ୍ୟ ସ୍ତରମାନଙ୍କର ପ୍ରତିଦୀପ୍ତି ଉତ୍ପାଦନର ସେହିପରି ସଂଜ୍ଞା ଦିଆଯାଇପାରେ, କୌଣସି ଅବସ୍ଥା ପାଇଁ w ହେଲେ ସେହି ଅବସ୍ଥାର ଉତ୍ତେଜନାର ଯେଉଁ ଭଗ୍ନାଂଶ ସିଧାସଳଖ

ସ୍ଵବରେ ଫୋଟନ ବିକରଣ କରେ । ପ୍ରତିଦୀପ୍ତି ଉତ୍ପାଦନ ମାପ କରିବାପାଇଁ ଅନେକ ପ୍ରଣାଳୀ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇଅଛି । ଦେଖାଯାଉଛି ଯେ, ବିକିରକର ପାରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ w_k ବଢ଼ିଥାଏ, ଲଘୁ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କ ପାଇଁ 0·10ରୁ ଆରମ୍ଭ କରି ୟୁରାନିୟମ୍ ପାଇଁ 0·95ରୁ ଅଧିକ ହୋଇଥାଏ ।

ଯଦି କପରରେ 100 *k* ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ନିଷ୍କାସିତ ହେଲାବେଳକୁ 40 *k* ଫୋଟନ ବିକଶିତ ହୁଏ, ଅନ୍ୟ 60ଟି ଶୂନ୍ୟସ୍ଥାନ ପୂରଣ କରିବାପାଇଁ କେଉଁ ପ୍ରଣାଳୀ କାର୍ଯ୍ୟ କରି-ଥାଏ ? 1925 ମସିହାରେ ଅଗରଙ୍କ କାର୍ଯ୍ୟରୁ ଏହି ପ୍ରଶ୍ନର ଉତ୍ତର ମିଳିଥାଏ । ଉଇଲସନଙ୍କ ବାଦଲ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ ବ୍ୟବହାର କରି ସେ ଆର୍ଗନ ପରମାଣୁରୁ ଏକ୍ସରେ ଦ୍ଵାରା ଫଟୋ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ନିଷ୍କାସନ ଆଲୋଚନା କରିଥିଲେ । ସେ ଦେଖିଲେ ଯେ, ଲମ୍ବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗତିପଥରୁ ଶତକଡ଼ା ୫0 ଗତିପଥ ସହିତ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ଖ୍ରେଟ ଗତିପଥ ଲାଗି ରହିଛି । ପରୋକ୍ତ ଗତିପଥର ପାରମାଣବିକ ଆଲୋଚନା କରିବା ପାଇଁ ସେ ଆର୍ଗନ ସହିତ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ମିଶାଇ ଦେଇ, ବର୍ତ୍ତମାନ କୁହାଯାଉଥିବା ଅଗର ଗତିପଥର ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବଢ଼ାଇ ଦେଇଥିଲେ । ସେ ଦେଖିଲେ ଯେ,

(୧) ଗୋଟିଏ ଫଟୋ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଗତିପଥ ଯେଉଁଠାରୁ ବାହାରିଛି, ଗୋଟିଏ ଅଗର ଗତିପଥ ସେହିଠାରୁ ବାହାରିଥାଏ ।

(୨) ଅଗର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ନିଷ୍କାସନର ବେଗର ସ୍ଥିରତା ନଥାଏ ଓ ଏହା ଫଟୋ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ବେଗର ଦ୍ଵାରା କୌଣସିମତେ ନିୟନ୍ତ୍ରିତ ହୁଏନାହିଁ ।

(୩) ଅଗର ଗତିପଥ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ଏହାର ବେଗ, ଫଟୋ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ବେଗ ଓ ଆପତିତ ଏକ୍ସରେ ଫୋଟନର ଆବୃତ୍ତି, କାହାଦ୍ଵାରା ନିୟନ୍ତ୍ରିତ ହୁଏନାହିଁ ।

ପ୍ରଥମ କଥାଟି ସୂଚନା ଦେଉଛି ଯେ, ଫଟୋ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଓ ଅଗର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଏକା ପରମାଣୁରୁ ବାହାରୁଛନ୍ତି । ଅନ୍ୟ ଦୁଇଟିରୁ ଅନୁମାନ କରାଯାଉଛି ଯେ, ଫଟୋ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ନିଷ୍କାସନ ଓ ଅଗର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ନିଷ୍କାସନ ଏ ଦୁହେଁ ସ୍ଵତନ୍ତ୍ର ଘଟଣା, ଯୁଗପତ୍ ଭାବରେ ନଘଟି ବରଂ ଗୋଟିକ ପରେ ଗୋଟିଏ ଘଟି ପାରିଥାଏ । ଅଗରଙ୍କ

ପରୀକ୍ଷାଗୁଡ଼ିକରେ ଫଟୋ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନର ନିଷ୍କାସନର ପରମାଣୁର K କୋଷରେ ଶୂନ୍ୟସ୍ଥାନ ସୃଷ୍ଟି କରେ । ଯେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ L ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଏହି ଶୂନ୍ୟସ୍ଥାନ ପୂରଣ କରେ, ଗୋଟିଏ ଦ୍ୱିତୀୟ L ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଅଗର ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଭାବରେ ନିଷ୍କାସିତ ହୋଇଥାଏ. ଏହିପରି ପରମାଣୁଟିକୁ ଦ୍ୱିବାର ଆୟନିତ କରି ଦେଇଥାଏ । କେହି କେହି ଏହି ପ୍ରଣାଳୀକୁ ଅଭ୍ୟନ୍ତର ଆଲୋକ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ପ୍ରଭାବ ବୋଲି କହିଥାନ୍ତି, ଗୋଟିଏ Kα ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ପରମାଣୁରୁ ବାହାରି ଗଲାବେଳେ ଗୋଟିଏ L ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଦ୍ୱାରା ଶୋଷିତ ହୋଇଥାଏ ବୋଲି ସେମାନେ ଅନୁମାନ କରନ୍ତି ଓ ଏହି ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଟି ଅଭ୍ୟନ୍ତରରୁ ଫଟୋ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଭାବରେ ନିଷ୍କାସିତ ହୋଇଥାଏ । ଏହା ପ୍ରକୃତରେ ଘଟୁନାହିଁ ବୋଲି ଯଥେଷ୍ଟ ପ୍ରମାଣ ମିଳିଲାଣି । ଯଦି ଏହି ଧାରଣା ଠିକ୍ ହୁଏ, ଅଗର ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଯେ କେବଳ ଯେଉଁ ପରମାଣୁରୁ ଫଟୋ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ୍ ନିଷ୍କାସିତ ହେଉଛି, ସେ ପରମାଣୁରୁ ବାହାରନ୍ତା, ତା ନୁହେଁ, ଅନ୍ୟ ପରମାଣୁରୁ ମଧ୍ୟ ବାହାରନ୍ତା । କିନ୍ତୁ ଅନ୍ୟ ପରମାଣୁମାନଙ୍କରୁ ଅଗର ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ବାହାରିବା ଆମେ ଦେଖୁନାହିଁ । ଆହୁ ମଧ୍ୟ, ଆର୍ଗନର ତା ନିଜ Kα ବିକିରଣ ପାଇଁ ଶୋଷଣାଙ୍କରୁ ବୋଧହୁଏ ଦେଖାଯିବ ଯେ, ଏକ ନିୟୁତରେ ଗୋଟିଏ ଘଟଣାରେ ଯେଉଁ ପରମାଣୁରୁ ଫୋଟନ ବାହାରୁଛି, ତାଦ୍ୱାରା ଶୋଷିତ ହେବ । କିନ୍ତୁ ଅଗର ଦେଖିଲେ ଯେ ଶତକଡ଼ା 93 କ୍ଷେତ୍ରରେ ଅଗର ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଫଟୋ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ସହ ସଂପୃକ୍ତ । ଏହା ବର୍ତ୍ତମାନ ସାଧାରଣ ଭାବରେ ଗୃହୀତ ଯେ, ଅଗର ପ୍ରଣାଳୀରେ କୌଣସି ଫୋଟନ ବିକିରିତ ହୁଏନାହିଁ, ବରଂ ଉତ୍ତେଜିତ ପରମାଣୁଟି ଏପରି ସଂକ୍ରମିତ ହୁଏ ଯେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ନିମ୍ନତର ସ୍ତରକୁ ଯାଏ ଓ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ଯୁଗପତ ଭାବରେ ନିଷ୍କାସିତ ହୋଇଥାଏ । ଅଗର ସଂକ୍ରମଣର ଉତ୍ତମ ତରଙ୍ଗ ଯାନ୍ତ୍ରିକ ବର୍ଣ୍ଣନା ଦିଆଗଲାଣି; ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ପରିମାଣର ସଂକ୍ରମଣ ସମ୍ଭାବନା ଏହା ଦେଉଅଛି ।

ଗୋଟିଏ $K \to L_{III}$, L_{III} ସଂକ୍ରମଣରେ ଅଗର ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନର ଶକ୍ତି K ସ୍ତରର ଶକ୍ତିରୁ L_{II}, L_{III} ଦ୍ୱାରା ସୂଚିତ ଦ୍ୱିବାର ଆୟନୀଭୂତ ପରମାଣୁର ଶକ୍ତି ଊଣା । ପରୀକ୍ଷଣ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ L_{III} ଆୟନୀଭୂତ ଶକ୍ତି ପରିମାଣର ଦୁଇଗୁଣରୁ ସାମାନ୍ୟ ଅଧିକ । କାରଣ ଗୋଟିଏ Z ପାରମାଣିକ ସଂଖ୍ୟା ବିଶିଷ୍ଟ ସୂକ୍ଷ୍ମ ପରମାଣୁରୁ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ନିଷ୍କାସନ କରିବାପାଇଁ ଯେତେ ଶକ୍ତି ଦରକାର ହୁଏ, ଗୋଟିଏ ଆୟନୀଭୂତ ପରମାଣୁରୁ

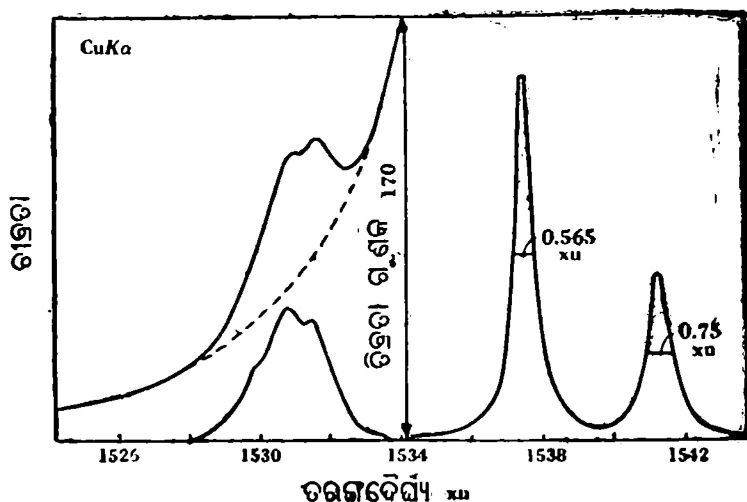
ସେହି ଅବସ୍ଥାର ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ନିଷ୍କାସନ କରିବାପାଇଁ ତାଠାରୁ ଅଧିକ ଶକ୍ତି ଦରକାର ହୋଇଥାଏ । (ବହୁ କ୍ଷେତ୍ରରେ Z+1 ପାରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁରୁ ସେହି ଅବସ୍ଥାର ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ନିଷ୍କାସନ କରିବାପାଇଁ ଦରକାର ହେଉଥିବା ଶକ୍ତି ସହିତ ଏ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ସମାନ ବୋଲି ଅନୁମାନ କରିବାଦ୍ୱାରା ଉତ୍ତମ ଆସନ୍ନମାନ ମିଳିଥାଏ) । ଅଗର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ନିଷ୍କାସନ କରୁଥିବା ପରମାଣୁର ଗୁଣ ଉପରେ କେବଳ ନିର୍ଭର କରିଥାଏ । ଅଗର ସଂକ୍ରମଣ ଫଳରେ ଗୋଟିଏ କୋଷରେ ଦୁଇଟି ଶୂନ୍ୟସ୍ଥାନ ରହିବାର ଆବଶ୍ୟକତା ନାହିଁ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ଗୋଟିଏ ଅଗର ସଂକ୍ରମଣ ହେଲା L_I L_{III} M_V, ଏହା L ସ ପାଇଁ ପ୍ରଧାନ । ସାଧାରଣ ଭାବରେ କହିଲେ L_I ଅବସ୍ଥାରୁ ଅଗର ସଂକ୍ରମଣ ଏତେ ସମ୍ଭବ ଯେ L_I ଶୂନ୍ୟତାରୁ ସୃଷ୍ଟ L–ସିରିଜ୍ ରେଖାର ଉଜ୍ଜ୍ୱଳ ହୁଅନ୍ତା, ତା ତୁଳନାରେ ଅତି କ୍ଷୀଣ ହୋଇଥାଏ ।

ଗୋଟିଏ ଉତ୍ତେଜିତ ପରମାଣୁ ଶକ୍ତି ହରାଇବା ପାଇଁ ଅଗର ପ୍ରଭାବ ବିକିରଣ ସହିତ ପ୍ରତିଦ୍ୱନ୍ଦ୍ୱିତା କରିଥାଏ । ଗୋଟିଏ ଉତ୍ତେଜିତ ପରମାଣୁ ନିମ୍ନ ଶକ୍ତି ସ୍ତରକୁ ଯିବାପାଇଁ ଅଗର ସଂକ୍ରମଣରେ ଗୋଟିଏ ଫୋଟନ ବିକିରିତ ନ ହୋଇ ଗୋଟିଏ ଇଲେକଟ୍ରନ ବିକିରିତ ହୋଇଥାଏ । ଗୋଟିଏ ହିଲିୟମ ପରମାଣୁର ଦୁଇଟି ଯାକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଯେତେବେଳେ ତା'ର 1s କକ୍ଷରେ ଏକକାଳୀନ ଉତ୍ତେଜିତ ହୋଇଥାଏ, ଅଗର ସଂକ୍ରମଣ ଘଟି ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ନିଷ୍କାସିତ ହୋଇଯାଏ ଓ ଅନ୍ୟଟି 1s ଅବସ୍ଥାକୁ ଫେରିଆସେ । ପାରମାଣବିକ ସ୍ପେକଟ୍ରୋସ୍କୋପିରେ ଏ ପ୍ରକାରର ସ୍ୱଆୟନନ ଅସାଧାରଣ ଘଟଣା ନୁହେଁ ।

16·6 ଅଭ୍ୟନ୍ତର କୋଷଗୁଡ଼ିକର ବହୁ ଆୟନନ :

ଏହା ଭାଗ୍ୟର କଥା ଯେ, ମୋସ୍‌ଲେ ଓ ସେସମସ୍ନର ପ୍ରାରମ୍ଭିକ କର୍ମୀମାନଙ୍କର ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରୋମିଟରର ସୂକ୍ଷ୍ମତା ଓ ବିଭଜକତା ଆଜିକାଲି ବ୍ୟବହୃତ ଯନ୍ତ୍ରପାତି ପରି ହୋଇ ନଥିଲା । ସେମାନେ ଯେଉଁ ରେଖାଗୁଡ଼ିକୁ ଦେଖିଥିଲେ ସେଗୁଡ଼ିକ ଏକ୍ସରେ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ଅଧିକ ତୀବ୍ର ଓ ଅଧିକ ସହଜରେ ବିଭଜନ-କ୍ଷମ ଥିଲା । ଏହା ଏକକ ଆୟନନ ଅବସ୍ଥା ଗୁଡ଼ିକ ମଧ୍ୟରେ ସଂକ୍ରମଣ ଲାଗି ଘଟେ ଓ ଏଗୁଡ଼ିକୁ ପ୍ରଥମ-କୋଟୀର ରେଖା ବୋଲି କୁହାଯାଏ ।

ପରୀକ୍ଷା କୌଶଳରେ ଉନ୍ନତି ଫଳରେ ଅନ୍ୟ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ଆବିଷ୍କୃତ ହେଲା । ଏଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରଚଳିତ ଚିତ୍ର ମଧ୍ୟରେ ମେଳ ଖାଇଲାନାହିଁ । ଏଗୁଡ଼ିକରୁ ଅଧିକାଂଶ ରେଖା ଦୁର୍ବଳ ଥିବା ଓ ଉଜ୍ଜ୍ୱଳ ରେଖାଗୁଡ଼ିକର ନିକଟରେ ଶ୍ରେଷ୍ଠ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ଆଡ଼କୁ ଦେଖାଯାଉଥିଲା । ଏହି କାରଣରୁ ଏଗୁଡ଼ିକ ଉପରେଖା ବୋଲି ସାଧାରଣତଃ କୁହାଯାଇଥାଏ । ଚିତ୍ର ୧୬.୫ରେ ଗୋଟିଏ ସାଧାରଣ ଉପରେଖାଯୁକ୍ତ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ରେଖା ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଉପରେଖା ଗଠନ ଜଟିଳ ବୋଲି ଦେଖାଯାଇଅଛି, ବିଭିନ୍ନ ଉଜ୍ଜ୍ୱଳତାର ବହୁ ରେଖା ଏଥି ମଧ୍ୟରେ ରହିଅଛି । ଅଧିକାଂଶ (ଯଦି ସବୁ ବୋଲି ନାହିଁବା) ପ୍ରଥମ-କୋଟୀର ରେଖା ସହିତ ଉପରେଖା ରହିଥାଏ; ଉପରେଖାମାନଙ୍କର ମୋଟ ସଂଖ୍ୟା ବର୍ତ୍ତମାନ ମୂଳ ଚିତ୍ରର ରେଖାମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟାଠାରୁ ବହୁତ ବେଶୀ ହେଲଣି ।



[ଚିତ୍ର ୧୬.୬ Cu^{29}ର K_{α_1} ଦ୍ୱିଧାର ସହିତ ତା'ର ଉପରେଖାଗୁଚ୍ଛ । ଅନ୍ୟ ରେଖାମାନଙ୍କର ତୀବ୍ରତାକୁ ହିସାବ ଅନୁସାରେ ବିୟୋଗ କରି ଉପରେଖାର ତୀବ୍ରତା ନିର୍ଣ୍ଣିତ କରାଯାଇଅଛି (ତଳେ ବାମପଟକୁ)]

ଉପରେଖାମାନଙ୍କର ତୀବ୍ରତା କମ୍ ହୋଇଥିବାରୁ ସେମାନଙ୍କର ଧର୍ମ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ବିଶ୍ୱାସଯୋଗ୍ୟ ବିବରଣୀ ମିଳିବା ଅତ୍ୟନ୍ତ କଷ୍ଟକର । ତେବେ, କେତେକ ଉପରେଖାଙ୍କର ଉତ୍ତେଜକ ଭୋଲ୍ଟ ସେମାନଙ୍କ ସହ ଥିବା ପ୍ରଥମ-କୋଟୀର ରେଖା ବା ମାତୃରେଖାମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଦରକାର ହେଉଥିବା ଭୋଲ୍ଟଠାରୁ ନିଶ୍ଚିତଭାବରେ ବଡ଼ ବୋଲି ଜଣାଯାଇଛି । ଚିତ୍ର ୧୬'୫ରେ ଦର୍ଶାଯାଇଥିବା K ପ୍ରକାରର ଉପରେଖା କ୍ଷେତ୍ରରେ ଉତ୍ତେଜକ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ହେଲି ଗୋଟିଏ K ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସାଙ୍ଗକୁ ଗୋଟିଏ L ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ନିଷ୍କାସନ କରିବାକୁ ଦରକାର ହେଉଥିବା ଶକ୍ତି । ତେଣୁ, ଆମେ ଅନୁମାନ କରି ପାରିବା ଯେ, ଏହି ଉପରେଖାଗୁଡ଼ିକର ବିକିରଣ ପାଇଁ ପ୍ରାରମ୍ଭିକ ଅବସ୍ଥା ଦ୍ୱିଆୟନନ ଅବସ୍ଥା, ଏଥିରେ ପରମାଣୁର K କୋଷ ଓ L କୋଷ ଉଭୟରେ ଶୂନ୍ୟସ୍ଥାନ ରହିଥାଏ । ପରମାଣୁର ଏପରି ଗୋଟିଏ ଅବସ୍ଥାକୁ KL ପାରମାଣବିକ ଅବସ୍ଥା କୁହାଯାଇପାରେ । ସେହିପରି ଅନ୍ୟ ଦ୍ୱିଅୟନନ ଅବସ୍ଥା ଯଥା—KM, LM ପ୍ରଭୃତି ସମ୍ଭବ ହୋଇଥାଏ ।

KL ଅବସ୍ଥାରେ ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁ ଅନ୍ୟ ଦ୍ୱିଅୟନନ ଅବସ୍ଥାକୁ ବିକିରଣ ଦ୍ୱାରା ସଂକ୍ରମିତ ହୋଇପାରେ; ଉଦାହରଣ—KL→km (ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ M କୋଷରୁ L କୋଷକୁ ଯାଇପାରେ) ବା K→LL (ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ L କୋଷରୁ K କୋଷକୁ ଯାଇପାରେ) ପାରମାଣବିକ ଶକ୍ତିର ହିସାବରୁ ଜଣାଯାଏ ଯେ, KL→LL ସଂକ୍ରମଣରେ ଚିତ୍ର ସଂକ୍ରମଣ K→L ଅପେକ୍ଷା ଶକ୍ତିରେ ଅତି ସାମାନ୍ୟ ବେଶୀ ହୋଇଥାଏ । K – L ସଂକ୍ରମଣ Kα ରେଖା ଦେଇଥାଏ, ତେଣୁ KL→LL ସଂକ୍ରମଣ ଏହାର ନିକଟରେ କ୍ଷୁଦ୍ରତ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟପଟେ ଉପରେଖାସବୁ ଦେବ । ସେହିପରି KL→LM ସଂକ୍ରମଣ Kβ ରେଖାମାନଙ୍କର କ୍ଷୁଦ୍ରତ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟଆଡ଼କୁ ଉପରେଖା ସବୁ ଦେବ । ଅନୁମାନ କରାଯାଏ ଯେ, ଗୋଟିଏ କାଥୋଡ଼ ରଶ୍ମି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଦ୍ୱାରା ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁରୁ ଦୁଇଟି ଇଲେକଟ୍ରନ ନିଷ୍କାସନ କରିପାରେ । ଯଦି ଦ୍ୱିଆୟନୀଭୂତ ପରମାଣୁର ଏହାହିଁ ମୂଳ କାରଣ ହୋଇଥାଏ, ହିସାବରୁ ଦେଖାଯାଉଛି ଯେ, ମାତୃରେଖାର ତୀବ୍ରତା ତୁଳନାରେ ଉପରେଖାମାନଙ୍କର ତୀବ୍ରତା ପାରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ଭାବରେ କମି କମିଯିବ । ଏହିପରି ପରିବର୍ତ୍ତନ K ସିରିଜ୍ ସହିତ ଥିବା ଉପରେଖାମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଠିକ୍ ହେଉଛି ବୋଲି ପରୀକ୍ଷାରୁ ଦେଖାଯାଉଛି, ମାତ୍ର L ବା Mର ଉପରେଖାମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଏହା ଠିକ୍ ହେଉନାହିଁ ।

$L\alpha$ ରେଖା ସହ ଥିବା ଉପରେଖାମାନଙ୍କର ତୀବ୍ରତା ପାରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା 47ରୁ 50କୁ ବଢ଼ିବାବେଳେ ହଠାତ୍ କମିଯିବାର ଲକ୍ଷ୍ୟ କରାଯାଏ ଓ ପୁଣି ପ୍ରାୟ 75 ପାଖରେ ହଠାତ୍ ବଢ଼ିଯାଏ; 50 ଓ 75 ପାରମାଣିକ ସଂଖ୍ୟା ମଧ୍ୟରେ $L\alpha$ ଉପଗ୍ରହ ସବୁ କାର୍ଯ୍ୟତଃ ଦେଖାଯାଏନାହିଁ । 1935 ମସିହାରେ କଷ୍ଟର ଓ କ୍ରନଗ୍ ଏହି ସମ୍ପର୍କରେ ଅଗର ପ୍ରଭାବରେ ପ୍ରଧାନ୍ୟ ଦେଖାଇବାକୁ ଯାଇ ଏହି ବିଶ୍ଳେଷଣର ଗୁଣ ଦେଖାଇଥିଲେ । ସେମାନେ ପ୍ରସ୍ତାବ ଦେଲେ ଯେ, $L\alpha$ ଉପରେଖାସବୁ ପ୍ରଧାନତଃ L_{III} M_{IV} ଓ L_{III} M_V ପ୍ରାଥମିକ ଅବସ୍ଥାରୁ ଜନ୍ମିଥାଏ ଓ ଏହି ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ L_1 ଅବସ୍ଥାରୁ ଅଗର ସଂକ୍ରମଣ ଦ୍ୱାରା ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଥାଏ । $L_1 \rightarrow L_{III}$ M_{IV} ଓ $L_1 \rightarrow L_{III}$ M_V ସଂକ୍ରମଣ ସବୁ କେବଳ L_1 ଅବସ୍ଥାର ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ଦ୍ୱିଆୟନ ଅବସ୍ଥା L_{III} M_{IV} ଓ L_{III} M_V ଅବସ୍ଥା ତୁଳନାରେ ଅଧିକ ହେଲେ ସମ୍ଭବ ହୋଇଥାଏ । ଏହି ସର୍ତ୍ତ କେବଳ $Z<0$ ଓ $Z>75$ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କ ପାଇଁ ପୂରଣ ହୋଇଥାଏ । ତେଣୁ, ଆମେ ଅନୁମାନ କରୁ ଯେ, କେତେକ ପରମାଣୁ ସିଧା କାଥୋଡ଼ରଶ୍ମି ଆଘାତଦ୍ୱାରା L_{III} $M_{IV,V}$ ଅବସ୍ଥାରେ ପରିଣତ ହୋଇଥାଏ, କିନ୍ତୁ ଏ ଅବସ୍ଥା ପ୍ରଧାନତଃ ଅଗର ସଂକ୍ରମଣ ଦ୍ୱାରାହିଁ ହୋଇଥାଏ; ଏହିପରି $Z=50$ରୁ $Z=75$ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ $L\alpha$ ଉପରେଖା ସବୁ କମିଲବା ବୁଝାଯାଇ ପାରିବ ।

ଅଗର ସଂକ୍ରମଣ ଘଟିବା ଫଳରେ ମୂଳରେଖ ରେଖାଗୁଡ଼ିକର ତୀବ୍ରତା ମଧ୍ୟ ପ୍ରଭାବିତ ହେବ । ତେଣୁ ଯେଉଁ ସଂକ୍ରମଣଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ L_1 ପ୍ରାରମ୍ଭିକ ଅବସ୍ଥା, ଅଗର ସଂକ୍ରମଣ ଦ୍ୱାରା L_1 ଅବସ୍ଥାରୁ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକୁ ଅପସରଣ କରି ନଆଯିବାରୁ ସେହି ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ଦୁର୍ବଳ ହୋଇଯିବ; ତେଣୁ $Z=50$ ଠାରେ ଓ $Z=75$ (ପ୍ରାୟ)ଠାରେ ବରଂ ହଠାତ୍ ତୀବ୍ରତାର ପରିବର୍ତ୍ତନ ଘଟି ପରୀକ୍ଷା ସହିତ ଖାପ ଖାଇଯିବ ।

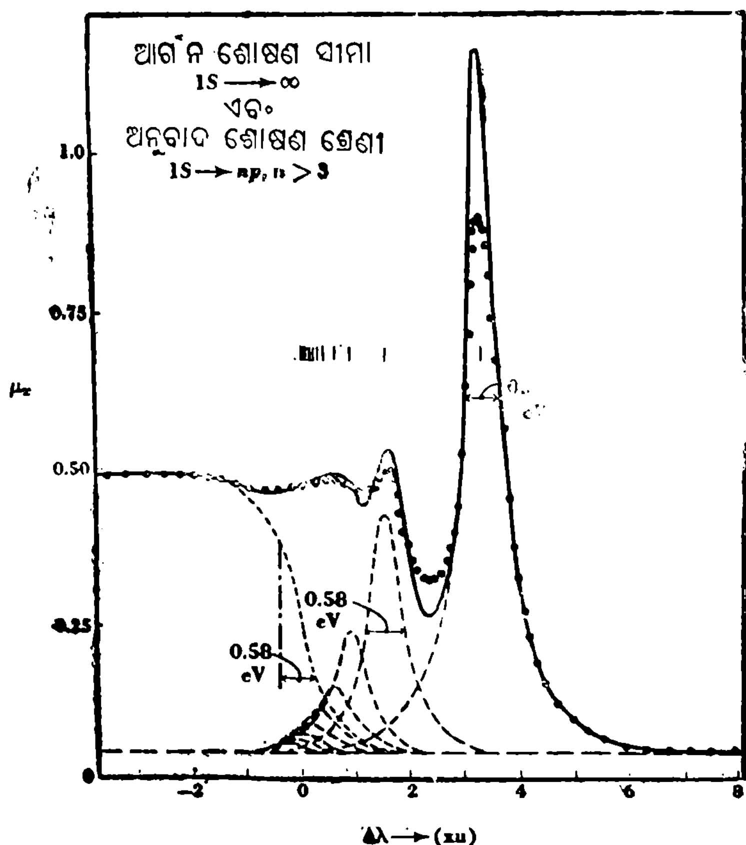
16·7 ଏକ୍ସରେ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ଓ ପରମାଣୁର ବାହାର ଅଂଶ :

ଏକ୍ସରେ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ମୂଳତଃ ଅଭ୍ୟନ୍ତର ପାରମାଣିକ ଗଠନ ସହ ସମ୍ପୃକ୍ତ । ଏହା ଫଳରେ ପରମାଣୁର ଅନ୍ୟ ସ୍ଥାନରେ ଯାହା କିଛି ପରିବର୍ତ୍ତନ ଘଟିବ, ତାହା ଭିତର କୋଷମାନଙ୍କରେ ଶୂନ୍ୟସ୍ଥାନ ହେବା ଫଳରେ ମିଳୁଥିବା ଶକ୍ତି ସ୍ତରମାନଙ୍କ ଉପରେ

ଅପେକ୍ଷାକୃତ କମ୍ ପ୍ରଭାବ ପକାଉଥିବାରୁ ଉପେକ୍ଷା କରାଯାଇପାରେ । ତେବେ, ଏକ୍ସରେ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର କେତେକ ସୂକ୍ଷ୍ମ ଘଟଣା ବୁଝିବାପାଇଁ ପରମାଣୁର ବାହାର ଅଂଶର ବିସ୍ତୃତ ଦରକାର ହୋଇଥାଏ, ଏପରିକି କଠିନ ଓ ତରଳ ପଦାର୍ଥରେ ଗୁଣଯୋଗରେ ଥିବା ବସ୍ତୁ ମଧ୍ୟ ବିସ୍ତାରକୁ ନେବା ଦରକାର ହୋଇଥାଏ ।

ଆମେ ଅନୁମାନ କରିଥାଇଁ ଯେ, ଯେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ ଏକ୍ସରେ ଫୋଟନ ଶୋଷିତ ହୋଇଥାଏ, ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଶୋଷଣଦ୍ୱାରା ପରମାଣୁରୁ ଏକାବେଳକେ ବାହାରିଯାଇଥାଏ । ତେବେ ଯଦି ପରମାଣୁଟି ଏକୁଟିଆ ରହିଥାନ୍ତା, ଅର୍ଥାତ୍ ଏକ-ପରମାଣୁ ଗ୍ୟାସରେ ଥିବାପରି ରହିଥାଏ, ପରମାଣୁର କୌଣସି ବାହ୍ୟ ଶକ୍ତିସ୍ତରରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ରହିଯିବାର ସମ୍ଭାବନା ରହିଥାଏ; ସେ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ଅନନ୍ତକୁ ଅପସାରିତ ହୋଇଥିଲେ ଯେତେ ଶକ୍ତି ଶୋଷିତ ହୋଇଥାନ୍ତା, ତାହାଠାରୁ କମ୍ ଶକ୍ତି $h\nu$ ଶୋଷିତ ହୋଇଥାଏ । ଆର୍ଗନର K ଶୋଷଣସୀମା ଅଧିକ ବିଭେଦନ-କ୍ଷମ ଯନ୍ତ୍ରରେ ପରୀକ୍ଷିତ ହେଲେ ଯେପରି ଦେଖାଯିବ, ତାହା ଚିତ୍ର ୧୬.୬ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । K ଶୋଷଣସୀମାଠାରୁ ଉଚ୍ଚତର ଆବୃତ୍ତିଅଞ୍ଚଳକୁ ଫଟୋ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଶୋଷଣ ସାଙ୍ଗକୁ ସୀମାର ବଡ଼ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟପଟେ ଗୋଟିଏ ସିରିଜରେଖା ଦେଖାଯାଏ, ଏହା ଗୋଟିଏ K "ସମତାନ" ସ୍ତରକୁ ସଂକ୍ରମଣ ଫଳରେ ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଥାଏ । ତେବେ, ଏ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ପାଖାପାଖି ରହିବା ଦରକାର, କାରଣ ସାଧାରଣ ଆଲୋକସ୍ତରମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ତାରତମ୍ୟ ଯେତିକି ଏକ୍ଷେତ୍ରରେ ସ୍ତରମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ତାରତମ୍ୟ ସେତିକି ହେବ । ଅର୍ଥାତ୍, ଏହା କେତେକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଭୋଲ୍ଟ ବା ତା'ଠାରୁ କମ୍ ହେବ । ଆର୍ଗନର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ଗଠନ $(Z=18)$, $1s^2\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6$ ଅଛିଆସୁନଥ K ଶୋଷଣରେ $1s\ 2s^2\ 2p^6\ 3s^2\ 3p^6\ np$କୁ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୁଏ, $1s$ ଅବସ୍ଥାରୁ କେବଳ ଗୋଟିଏ P ଅବସ୍ଥାକୁ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଉତ୍ତେଜିତ ହୋଇ ପାରିବ (କାରଣ ବର୍ଗ ନିୟମ lକୁ କେବଳ 1 ଦ୍ୱାରା ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହେବାକୁ ଦିଏ) । ବିଶୃଙ୍ଖଳ ଥିବା ପାରମାଣବିକ ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକର ସ୍ଥାନ ଏଥିପାଇଁ ପଟାସିୟମ $(Z=19)$ର ଅଲୋକ p ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ସହ ସମାନ ହେବ । ତେଣୁ ଚିତ୍ର ୧୬.୫ର ସର୍ବାଧିକ ଉଜ୍ଜ୍ୱଳ ରେଖାକୁ ଯଦି ଆମେ $1s-4p$ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ସଂକ୍ରମଣ ଲାଗି ଘଟୁଛି ବୋଲି କହିବା, ଅନ୍ୟ ସମତାନ ରେଖାମାନଙ୍କର ସ୍ଥାନ ଓ ସେମାନଙ୍କର ସିରିଜ ସୀମାର ସ୍ଥାନ ପଟାସିୟମର

ଜଣାଥିବା ଅନେକ p ପଦଗୁଡ଼ିକୁ ନେଇ ସ୍ଥିର କରିପାରିବା । ଏପରି ଅଧିକ ବିଭିଜନକ୍ଷମ ଯନ୍ତ୍ରରେ ଦେଖାଯାଉଥିବାରୁ ଫଟୋ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଶୋଷଣସୀମାର ଗୋଟିଏ ସସୀମ "ପ୍ରସ୍ଥ" ଥିବା ଦରକାର । ତତ୍ତ୍ୱରୁ ଜଣାଯାଉଛି ଯେ, ଏହାର ଆକାର ଗୋଟିଏ ସ୍ୱପସ୍ପର୍ଶକ ରେଖାଦ୍ୱାରା ସୂଚିତ ହେବ ଓ ଏହାର ପ୍ରସ୍ଥ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଶୋଷିତ ରେଖା ଓ ବିକିରିତ ରେଖାର ପ୍ରସ୍ଥ ଯାହା ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ, ତାହା ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିବ । ଚିତ୍ରରେ



[ଚିତ୍ର ୧୬·୬ ଆର୍ଗନର K ଶୋଷଣସୀମା ଓ 0 ଠାରେ କେନ୍ଦ୍ରୀଭୂତ ହୋଇଥିବା ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ K ଶୋଷଣବ୍ୟାଣ୍ଡଠାରୁ ଅଧିକ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟଠାରେ ଥିବା ସମତାନ ରେଖାମାନଙ୍କର ମିଶ୍ରଣ ଦ୍ୱାରା ଏହାର ବ୍ୟାଖ୍ୟା । (courtesy of L. G. Parratt)]

ବାମପାଖରେ ଖଣ୍ଡିତରେଖା ଆକାରରେ ତତ୍ତ୍ୱଦୃଷ୍ଟିରୁ ଶୋଷଣସୀମା ଦେଖାଯାଇଅଛୁ। ହିସାବରୁ ମିଳୁଥିବା P ସିରିଜ୍‌ର ସୀମାର ସ୍ଥାନରେ ଏହା କେନ୍ଦ୍ରୀଭୂତ ହୋଇଅଛୁ।

ଯେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁ ଅନ୍ୟ ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ଅତି ନିକଟକୁ ଅଣାଯାଏ, ଭିତର କୋଷରେ ଆୟନନ ଫଳରେ ସୃଷ୍ଟ ଏକ୍ସରେ ସାମାନ୍ୟ ପରିମାଣରେ ମାତ୍ର ପ୍ରଭାବିତ ହୁଏ; କିନ୍ତୁ ଯେଉଁଗୁଡ଼ିକ ପରମାଣୁର ବାହ୍ୟସ୍ତରର ସଙ୍ଗେ ସଂପୃକ୍ତ ତାହା ବହୁ ପରିମାଣରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇଯାଇଥାଏ। କଠିନବସ୍ତୁରେ, ପରମାଣୁର ବାହାର ସ୍ତରର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ସମସ୍ତ କଠିନବସ୍ତୁର ସମ୍ପର୍କରେ ଆସିଯାଏ, କେବଳ କେତେକ ପରମାଣୁର ସମ୍ପର୍କରେ ନୁହେଁ, ଏହି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ କଥା ବିସ୍ତର କଲେ ବିଚ୍ଛିନ୍ନ ପାରମାଣବିକ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ବଦଳରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ଅବସ୍ଥାର ପ୍ରଧାନତଃ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ବ୍ୟାଣ୍ଡଗୁଡ଼ିକ ମିଳିଥାଏ (ଅନୁ: ୬୯.୫)। ଆଲ୍‌କାଲି (କ୍ଷାର) ଧାତୁଗୁଡ଼ିକର ବିଷୟ ସର୍ବାପେକ୍ଷା ସରଳ। ଏଠାରେ ପରମାଣୁ ବିଶେଷର ସଂଯୋଜକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ଅବସ୍ଥା ବଦଳରେ ସ୍ଫଟିକରେ କେତେକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଭୋଲ୍ଟ ଚଉଡ଼ାର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ଦେଖାଯାଏ। ଏହି ବ୍ୟାଣ୍ଡଗୁଡ଼ିକରୁ ଗୋଟିଏ ଏକ୍ସରେ ସ୍ତରର ଶୂନ୍ୟସ୍ଥାନକୁ ସଂକ୍ରମଣ ଦ୍ୱାରା ଗୋଟିଏ ସରୁ ରେଖା ନମିଳି ଚଉଡ଼ା ବିକିରଣ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ମିଳେ। ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, କଠିନ ବସ୍ତୁ ସୋଡ଼ିୟମରୁ L ବିକିରଣ 3s ବ୍ୟାଣ୍ଡରୁ ବିଭାଜନ ନ ହୋଇଥିବା 2p ସ୍ତରକୁ ସଂକ୍ରମଣ ଦ୍ୱାରା ମିଳିଥାଏ, ଏହା ଗୋଟିଏ ୱେଭ୍ ଆକାରର ବ୍ୟାଣ୍ଡ ଭାବରେ ପ୍ରାୟ 450A°ଠାରୁ ଆରମ୍ଭ କରି 390A°ଠାରେ ସର୍ବାଧିକ ମୂଲ୍ୟକୁ ବୃଦ୍ଧି ପାଇଥିବା ଲକ୍ଷ୍ୟ କରାଯାଇଥାଏ।

16·8 ଏକ୍ସରେର ପ୍ରତିସରଣ ଓ ପ୍ରତିଫଳନ :

(କ) ପ୍ରତିସରଣ :

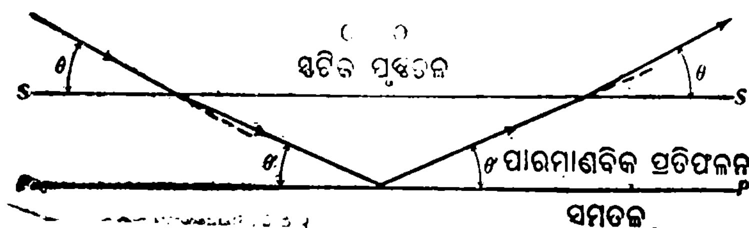
ଏକ୍ସରେ ଯେ ପରିମାପ କଲାପରି ପରିମାଣରେ ପ୍ରତିସରିତ ହୁଏ, ତାହା ପ୍ରଥମେ ଷ୍ଟେନ୍‌ଷ୍ଟ୍ରମ୍‌ଙ୍କ କାର୍ଯ୍ୟରୁ ଜଣାପଡ଼ିଥିଲା। ସେ ଦେଖାଇଲେ ଯେ, ଯେତେବେଳେ ସ୍ଫଟିକମାନଙ୍କର ଏକ୍ସରେର ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ କୋଟୀର ପ୍ରତିଫଳନରୁ ଗୋଟିଏ ଦତ୍ତରେଖାର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ବ୍ରାଗ ନିୟମ ଅନୁସାରେ ହିସାବ କରାଯାଉଅଛି, ସୂକ୍ଷ୍ମ ପରିମାପ ନେଲେ

ସେ ଦୈର୍ଘ୍ୟର ଏକା ମୂଲ୍ୟ ମିଳୁନାହିଁ । ଉଦାହରଣ ସ୍ବରୂପ, ଜାଲ୍‌ମାର ଦେଖିଲେ ଯେ, ଗୋଟିଏ ଜିପସମ୍ ସ୍ଫଟିକରୁ ପ୍ରଥମ କୋଟୀର ପ୍ରତିଫଳନରେ ($2d = 15{\cdot}155$ A°) *Fe* K_{α_1} ରେଖାର ପ୍ରଣାଳୀ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ଥିଲା 1·9341A°, କିନ୍ତୁ ଷଷ୍ଠକୋଟୀର ପ୍ରତିଫଳନକୁ ମିଳିଲା । 1·9306A° – ଏହା ପୂର୍ବ ମୂଲ୍ୟର ପ୍ରାୟ ଶତକଡ଼ା 0·2 କମ୍ ।

ବ୍ରାଗ୍ ସୂତ୍ରର ଏହିପରି ଭୁଲ ମନେ ହେବାର କାରଣ ରଶ୍ମି ଗୁଡ଼ିକ ସ୍ଫଟିକ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରବେଶ କରିବାଦ୍ୱାରା ଘଟୁଛି ବୋଲି ମନେ କରିବାକୁ ହେବ, ପ୍ରତିସରଣାଙ୍କ ଏକରୁ କମ୍ । ଚିତ୍ର ୧୬·୭ରେ ଗୋଟିଏ ସ୍ପର୍ଶ ରୈଖିକ କୋଣ θରେ ପ୍ରବେଶ କରି ବ୍ରାଗ୍ ସମତଳ *PP*ରେ θ′ କୋଣରେ ଆପତିତ ହେଉଥିବା ଗୋଟିଏ ରଶ୍ମି ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ବ୍ରାଗଙ୍କ ନିୟମ

$$n\lambda' = 2d \sin \theta' \qquad (୧୬·୪)$$

ସ୍ଫଟିକର ସମତଳରେ ପ୍ରତିଫଳନର ପ୍ରକୃତ ନିୟମ ଦେଇଥାଏ, ଏଠାରେ λ′ ହେଲା ସ୍ଫଟିକରେ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ । θ ଓ λ ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ସମ୍ବନ୍ଧ ପାଇବାପାଇଁ (ଏଠାରେ λ ହେଲା ବାୟୁରେ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ) ଆମେ ଆଲୋକରେ ବ୍ୟବହୃତ ନିୟମ ବ୍ୟବହାର କରିବା, $\mu = \lambda/\lambda' = \cos\theta/\cos\theta'$, μ ହେଲା ବାୟୁ ସ୍ଫଟିକର ପ୍ରତିସରଣାଙ୍କ । λ′ ଓ $\sin\theta' = (1-\cos^2\theta')^{\frac{1}{2}}$କୁ ସମୀକରଣ (୧୬·୪)ରୁ ଉଠାଇ ଦେଇ, ଗୋଟିଏ ଶ୍ରେଷ୍ଠ



[ଚିତ୍ର ୧୬·୭ ଗୋଟିଏ ସ୍ଫଟିକର ପୃଷ୍ଠଦେଶରେ ପ୍ରବେଶ କରୁଥିବା ଏକ୍ସରେର ପ୍ରତିସରଣ]

ରାଶି $(1-\mu)$ର ଶକ୍ତିରେ ପ୍ରସାର କରି ଓ ଏହି ରାଶିର କେବଳ ପ୍ରଥମ ଶକ୍ତିକୁ ରଖିଲେ, ଦେଖାଯିବ ଯେ,

$$n\lambda = 2\, d \,\text{Sin}\,\theta \left(1 - \frac{1-\mu}{\text{Sin}^2\theta}\right) \qquad (୧୬·୪୭)$$

ଲାର୍ସନ୍ ପରୀକ୍ଷାରୁ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ କୋଣୀର ବିବର୍ତ୍ତନ ତୁଳନା କରି ଉକ୍ତ ସୂତ୍ର ଅନୁସାରେ ବେଇଥିବା କେତେକ $1-\mu$ ବା δ ମୂଲ୍ୟ ତଳେ ଦିଆଗଲା;

λ, A°	$\delta \times 10^6$	
	ମାଇକା	କାଲ୍‌ସାଇଟ୍
1·537	8·94	8·8
2·499	24·6	22·4
3·447	49·1	41·9
5·166	103	
7·111	182	
8·320	262	

ପ୍ରିଜମ୍ ମଧ୍ୟ ଦେଇ ପ୍ରତିସରଣରୁ ଓ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ପ୍ରତିଫଳନରୁ ସଙ୍କଟ କୋଣ ମାପି ମଧ୍ୟ $1-\mu$ର ଉତ୍ତମ ମୂଲ୍ୟ ନିର୍ଦ୍ଧାରଣ କରାଯାଇଅଛି ।

(ଖ) ରୁଲ୍‌କରା ଗ୍ରେଟିଂରୁ ପ୍ରତିଫଳନ :

μ ରେ ପ୍ରତିସରଣାଙ୍କ ଏକରୁ କମ୍ ବୋଲି ପ୍ରମାଣିତ ହୋଇଗଲେ, ସ୍ପଷ୍ଟ ବୁଝାଯାଉଛି ଯେ ବାୟୁରୁ କୌଣସି ଏକ ବସ୍ତୁ ମାଧ୍ୟମକୁ (ଯଥା—କାଚ ବା କୌଣସି ଧାତୁ) ଗଲାବେଳେ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ପ୍ରତିଫଳିତ ହୋଇପାରିବ । ଫଳରେ ଯେପରି ଆଲୋକର ପରିସର ମଧ୍ୟରେ ଗ୍ରେଟିଂ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ମାପ କରାଯାଉଅଛି, ସେଠାରେ ମଧ୍ୟ ସେହିପରି ରୁଲ୍‌କରା ଗ୍ରେଟିଂ ବ୍ୟବହାର କରାଯିବା ସମ୍ଭବ, କେବଳ ରୁଲ୍‌କରା ପୃଷ୍ଠରେ ପଡ଼ୁଥିବା ଏକ୍ସରେ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ସଙ୍କଟ କୋଣଠାରୁ କମ୍ କୋଣ କରିବା ଦରକାର । ଏହିପ୍ରକାର

ପରିମାପ ନେବାରେ 1925 ମସିହାରେ କମ୍ପଟନ୍ ଓ ଡୋନ୍ ପ୍ରଥମ ଥିଲେ । ସ୍ପେକ୍ୟୁଲମ୍ ଧାତୁର ଗୋଟିଏ ଗ୍ରେଟିଂରେ ପ୍ରତି ମିଲିମିଟରରେ 50ଟି ରେଖା ନେଇ ସେମାନେ ମଲିବଡେନମ୍‌ର $K\alpha$, ରେଖାପାଇଁ $\lambda = 0{\cdot}707 \pm 0{\cdot}003 A^{\circ}$ ପାଇଥିଲେ । ଦଶବର୍ଷ ପରେ ବଅର୍ଡେନ୍ କାଚ ଉପରେ ସୂନା ଛାପ ପୃଷ୍ଠତଳରେ 100 ବା 300 ରେଖା ରୁଲ୍ କରି $Cu\ K\alpha_1$ ରେଖା ($1{\cdot}5406 A^{\circ}$)ର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ଶତକଡ଼ା 0·01ରୁ ଅଧିକ ସୂକ୍ଷ୍ମତାର ସହିତ ପରିମାପ କରିଥିଲେ ।

ରୁଲ୍ କରା ଗ୍ରେଟିଂ ସାହାଯ୍ୟରେ ପରିମାପ ଏକ୍ସରେ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟର ପରମମାନ ମାପ କରିବାର ସର୍ବାଧିକ ବିଶ୍ୱାସଯୋଗ୍ୟ ପ୍ରଣାଳୀ, କାରଣ ସ୍ଫଟିକର ସମାଙ୍ଗତା ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଏହା କୌଣସି ଅନୁମାନ ସାପେକ୍ଷ ନୁହେ । ପ୍ରକୃତରେ, ଏ ପ୍ରଣାଳୀର ପରିମାପର ଯେତୋଟି ମାତ୍ର କଥା ରହିଲା । ଶକ୍ତି ସ୍ଥାନରେ ଗତି କରୁଥିବା ଆଲୋକର ତରଙ୍ଗ ତତ୍ତ୍ୱ ଓ ଅତି ଭଲଭାବରେ ଜଣାଥିବା କାମ । ଯଥା—କୋଣର ପରିମାପ ଓ ମାଇକ୍ରୋମିଟର ଅଣୁବୀକ୍ଷଣ ଯନ୍ତ୍ରରେ ରେଖା ଗଣନା ।

ପ୍ରଶ୍ନାବଳୀ

୧ । N ଓ M ଏକ୍ସରେ ସ୍ତରମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସମସ୍ତ ଅନୁମିତ (ବୈଦ୍ୟୁତ-ଦ୍ୱିମେରୁ) ସଂକ୍ରମଣର ସୂଚନା ଦିଅ ।

୨ । ଯଦି ପ୍ଲାଟିନମ୍‌ର K, L ଓ M ଶକ୍ତିସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ମୋଟାମୋଟି ଯଥାକ୍ରମେ 78, 12 ଓ 3keVଠାରେ ରହେ, Kα ଓ Kβ ରେଖାମାନଙ୍କର ଅସନ୍ନ ଓ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ହିସାବ କର । ଗୋଟିଏ ଏକ୍ସରେ ଟିଉବ୍‌ରେ କେତେ ସର୍ବନିମ୍ନ ବିଭବ ଅନ୍ତର ହେଲେ ଏ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ଉତ୍ତେଜିତ ହେବେ ? K ଶୋଷଣସୀମା ମୋଟାମୋଟି କେତେ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟଠାରେ ? ସେହିପରି L ସୀମା ମୋଟାମୋଟି କେତେ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟଠାରେ ?

ଉତ୍ତର : 0.187A°, 0·165A°, 78kV, 0·159A°, 1A° ।

୩ । ରୁଡ଼ିୟମ୍‌ର (Z = 45) Kβ_1 ରେଖା (K→M_{111})ର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ 0·5445A° । ଏହା ସହିତ K ଏଙ୍ଗରଗୀରୁ (ଅନୁ: ୧୬·୩) ପ୍ରେୟଜ୍‌ରଙ୍କର ପରୀକ୍ଷାଫଳ ଯୋଗ କରି Rhର M_{111} ସ୍ତର ପାଇଁ ଶକ୍ତି ହିସାବ କର । ଟେବୁଲ ୧୬·୧କୁ ବ୍ୟବହାର କରି ଅନ୍ତଃପ୍ରସାର ଦ୍ୱାରା ଲବ୍ଧ ଉତ୍ତରର ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତତା ସ୍ଥିର କର ।

୪ । (କ) ଯଦି ସିଲ୍‌ଭର $K\alpha$ ଫୋଟନ ଗୋଟିଏ ମଲିବଡେନମ୍ ଶୋଷକକୁ ଆଘାତ କରେ, ସେଥିଁ ଗତିଜ ଶକ୍ତିରେ K ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ସବୁ ନିଷ୍କାସିତ ହେବେ, ତାହା ସ୍ଥିର କର ।

(ଖ) ଯଦି ମଲିବଡେନମ୍ ପରମାଣୁର ଅଗର ସଂକ୍ରମଣ ହୁଏ, K→L_1 L_{III} . ଦ୍ୱିଆୟନନ ଉତ୍ତେଜକ ଶକ୍ତି ଗୋଟି ଗୋଟି କରି ହେଉଥିବା ଶକ୍ତିର ଯୋଗଫଳ ବୋଲି ଅନୁମାନ କରି ଅଗର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ପ୍ରାରମ୍ଭିକ ଗତିଜ

ଶକ୍ତି ହିସାବ କର । ଏହି ଅନୁମାନ ଅଗର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ ଅତ୍ୟଧିକ ବା ଅତି ନ୍ୟୂନ ଶକ୍ତି ଦେଉଛି କି ?

୫ । (କ) 1925ରୁ 1926 ମଧ୍ୟରେ ଅଗର ଦେଖିଲେ ଯେ, Kr^{36}ର K କୋଷରୁ ଗୋଟିଏ ଅପଚନ ଫୋଟନ ଗୋଟିଏ ଫଟୋ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ନିଷ୍କାସନ କରିବା ଘଟଣା 223 ବାର ଲକ୍ଷ୍ୟ କରି 109 ଫଟୋ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗତିପଥ ସହିତ ଅଗର୍ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗତିପଥ ଥିଲା । କ୍ରିପଟନ୍‌ରେ K ପ୍ରତିପ୍ରଭା ଉତ୍ପାଦନ ସ୍ଥିର କର । (ଖ) ଯଦି 165 K ଫଟୋ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗତିପଥରୁ 153ଟିରେ ଅଗର ଗତିପଥ ଥାଏ ଆର୍ଗନ (Z = 18) ପାଇଁ K ପ୍ରତିପ୍ରଭା ଉତ୍ପାଦନ ହିସାବ କର ।

ଉତ୍ତର :)କ) 0·51; (ଖ) 0·07 ।

୬ । ଯେନନ୍ (Z = 54)ରେ ଫୋଟନଗୁଡ଼ିକର ଅଲୋକ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଶୋଷଣ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଅଗର୍‌ଙ୍କର ପରୀକ୍ଷାରୁ ମିଳିଲା, $w_k = 0·71$ ଏବଂ $w_l = 0·25$ । (ଏହି ପରୀକ୍ଷା ଫଳରୁ L ଉପକୋଷରୁ ଫଟୋ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ଅସିଥିଲା, ସେ ଜାଣି ପାରିଲେ ନାହିଁ ।) ଯଦି ସେ K କୋଷରେ 270ଟି ନିଷ୍କାସନ ଓ L କୋଷରୁ 175ଟି ନିଷ୍କାସନ ଦେଖିଥାନ୍ତି, ପ୍ରତି କୋଷରୁ କେତୋଟି ଫଟୋ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସହ ଅଗର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଥିବ ?

୭ । ଦ୍ୱିଧାର ନିୟମ, σ_2 ପାଇଁ ସମରଫିଲ୍‌ଡ୍‌ଙ୍କ ମୂଲ୍ୟ (ଅନୁ. ୧୬·୪) ଓ Ag^{47}ରେ $L_{II} - L_{III}$ର ଅନ୍ତର (ଟେବୁଲ ୧୬·୧ରୁ) ବ୍ୟବହାର କରି In^{49}ରେ $L_{II} - L_{III}$ ଅନ୍ତର ହିସାବ କର (ମାପଦ୍ୱାରା ମିଳିଥିବା ମୂଲ୍ୟ ହେଲା 227·5eV) ।

୮ । ଆବରଣ-ଦ୍ୱିଧାର ନିୟମ ଓ ଟେବୁଲ ୧୬·୧ରେ Pb^{82} ପାଇଁ · ଦିଆଥିବା ପରୀକ୍ଷା ଫଳରୁ Hg^{80}ରେ L_{II} ସ୍ତର ପାଇଁ ଶକ୍ତି ହିସାବ କର । ମର୍କ୍ୟୁରି L_I ସ୍ତରର ଶକ୍ତି 14·873keV ନିଅ । (L_{II}ର ପରୀକ୍ଷା ଲବ୍‌ଧ ଶକ୍ତି 14·238 keV) ।

୯ । ପ୍ରୋଟନଦ୍ୱାରା ବନ୍ଧା ହୋଇଥିବା ବଯୁକ୍ତ ମ୍ୟୁଅନ ସବୁ $n = 2$ରୁ ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାକୁ ସଂକ୍ରମିତ ହୋଇଥାନ୍ତି । ନିଷ୍କାସିତ ଫୋଟନ ଗୋଟିଏ କପର୍ ପାତରେ ପଡ଼ ।

ତେବେ Cu ସ୍ତରରୁ ଗୋଟିଏ ଫଟୋଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସର୍ଜନମ୍ ଶକ୍ତି କେଉ ଦରକାର ହେବ ? ଏପରି ଗୋଟିଏ ଫଟୋ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ମୋଟାମୋଟି ଗତିଜ ଶକ୍ତି କେତେ ?

୧୦ । $\lambda = 1{\cdot}54A^{\circ}$ ବୈଶିଷ୍ଟ୍ୟ ଫୋଟନ ପାଇଁ କାଚରୁ ଏକ୍ସରେ ପ୍ରତିଫଳନ ପାଇଁ ସଙ୍କଟ କୋଣ ହେଲା 15 ମିନଟର ଗ୍ରୁପ ଏହି ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟରେ କାଚର ପ୍ରତିସରଣାଙ୍କ କେତେ ?

ଉତ୍ତର . 0·999906 ।

୧୧ । ଗୋଟିଏ ସ୍ଫଟିକରେ ଏକ୍ସରେର କଳା ଗତିପଥ cଠାରୁ ସାମାନ୍ୟ ଅଧିକ, ତେଣୁ ପ୍ରତିସରଣାଙ୍କ $1-\delta$ ଆକାରରେ ଲେଖାଯାଇପାରିବ; ଏଠାରେ $\delta \lesssim 10^{-5}$ ।

(କ) ଦେଖାଅ ଯେ, ଯେତେବେଳେ ସ୍ଫଟିକର ପୃଷ୍ଠଦେଶରେ ପ୍ରତିସରଣକୁ ହିସାବକୁ ନେବାକୁ ହେବ, ବ୍ରାଗ୍‌ଙ୍କ ନିୟମ ବଦଳରେ ଆମେ ନିମ୍ନ ନିୟମଟି ପାଇବା;

$$n\lambda = 2d\left(1 - \frac{2\delta - \delta^2}{\sin^2\theta}\right)^{\frac{1}{2}} \sin\theta$$

(ଖ) ଦେଖାଅ ଯେ, ଯଦି n_1 ଓ n_2 କୋଟୀରେ ଗୋଟିଏ ଦତ୍ତ ରେଖାର ପ୍ରାପ୍ତ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ λ_1 ଓ λ_2 ହୁଏ,

$$\delta = \frac{2(\lambda_1 - \lambda_2)}{\lambda_1 + \lambda_2} \frac{n_2^2}{n_1^2 - n_1^2} \sin^2\theta_1 \quad \text{ରୁ}$$

δ_1 ହିସାବ କରାଯାଇ ପାରିବ । ଏହା ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମଙ୍କ ସୂତ୍ର ସ୍ୱବରେ ନାମିତ ।

୧୨ । $\delta = 10^{-5}$ ଓ $\theta = 15^{0}$ ପାଇଁ ବ୍ରାଗ୍‌ଙ୍କ ନିୟମର ଠିକ ଆକାର ବ୍ୟବହାର ନକରି ସରଳ ଆକାର ବ୍ୟବହାର କଲେ (ଠିକ୍ ନିୟମ ପୂର୍ବ ପ୍ରଶ୍ନରେ ଦିଆଯାଇଅଛି) $n\lambda$ରେ ଶତକଡ଼ା କେତେ ଭ୍ରମ ହେବ, ହିସାବ କର ।

ଉତ୍ତର : 0·015%

୧୩ । (କ) ଦେଖାଅ ଯେ, ଗୋଟିଏ ତୁଳକର ଗ୍ରେଟିଂର ପୃଷ୍ଠତଳରେ ପ୍ରାୟ ଲଗି ଲଗି ଆପତିତ ଏକ୍ସରେ ଯେତେବେଳେ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ପ୍ରତିଫଳିତ ହେବ, ଏକ ବ୍ୟତିକରଣ ଶୀର୍ଷ ପାଇଁ ସର୍ତ୍ତ ହେଲା $n\lambda = a\ [\cos\theta - \cos(\theta + \alpha)]$, ଏଠାରେ a ହେଲା ଗ୍ରେଟିଂ ବ୍ୟବଧାନ, θ ହେଲା glancing କୋଣ ଓ $\theta + \alpha$ ହେଲା ଗ୍ରେଟିଂର ପ୍ରତିଫଳନକାରୀ ପୃଷ୍ଠତଳ ସହିତ ପ୍ରତିଫଳନ ରଶ୍ମି ସୃଷ୍ଟି କରୁଥିବା କୋଣ । nର ବିଯୁକ୍ତ ମୂଲ୍ୟଗୁଡ଼ିକର ଅର୍ଥ କଣ ?

(ଖ) ଗୋଟିଏ ଗ୍ରେଟିଂର ପ୍ରତି ମିଲିମିଟରକୁ 50ଟି ରେଖା ଥିଲେ ସେଥିରେ 40 ମିନଟରେ ସ୍ପର୍ଶ କରୁଥିବା ସ୍ପର୍ଶ ରୈଖିକ (glancing) କୋଣରେ ପଡ଼ 2·5 A° ଏକ୍ସରେ ଆପତିତ ହୁଏ, ଦୁଇ ପ୍ରଥମକୋଟୀର ଶୀର୍ଷ ପାଇଁ ସ୍ପର୍ଶ ରୈଖିକ (glancing) କୋଣ $\theta + \alpha$ କେତେ କେତେ ହେବ ?

ଉତ୍ତର 43 5 ଓ 36·1 ମିନଟର ସ୍ପର୍ଶ ।

ସପ୍ତଦଶ ଅଧ୍ୟାୟ

ପାରମାଣବିକ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ

ପୂର୍ବ ଅଧ୍ୟାୟମାନଙ୍କରେ ଏକ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ କ୍ୱାଣ୍ଟମଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଓ ପାଉଲି ଅପବର୍ଜନ ନିୟମରେ ପିରିଅଡ଼ିକ ଟେବୁଲ୍ ଓ ଏକ୍‌ସରେ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ବୁଝାଇବାରେ ଚମତ୍କାରଭାବେ ସଫଳତା ପ୍ରଦର୍ଶିତ ହୋଇଅଛି । ବର୍ତ୍ତମାନ ଆମେ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଉତ୍ପନ୍ନ ବହୁଳତାପୂର୍ଣ୍ଣ ଆଲୋକ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଆଲୋଚନା କରିବା । ଏହି ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ସାଧାରଣତଃ ଗୋଟିଏ ବାହ୍ୟ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନର ଉତ୍ତେଜନାରୁ ଜାତ ହୋଇଥାଏ; ଅନ୍ୟ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ସେମାନଙ୍କର ମୂଳ ଅବସ୍ଥାରେ ଥିବା ପରି ମନେ କରାଯାଇପାରେ । (ଏହା ଗୋଟିଏ ଉତ୍ତମ ଆସନ୍ନ ହିସାବ) । ଅଧିକ ଜଟିଳ ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମକୁ ବୁଝାଇବା ପାଇଁ ନିଉକ୍ଲିୟସର କ୍ଷେତ୍ର ସାଙ୍ଗକୁ ଆମେ ଅନ୍ୟ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାଗୁଡ଼ିକ ବିଚାର କରୁ, କିନ୍ତୁ ଅନ୍ୟ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ଦ୍ୱାରା ଦ୍ୱାରା କ୍ଷେତ୍ରର ଗୋଲକାକାର ସାମ୍ୟତାହୀନ ଅଂଶ ଓ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-କକ୍ଷ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା କଥା ଆମେ ବିଚାର କରିଥାଉ ।

17·1 କୌଣିକ ସଂବେଗ ନିର୍ବାଚନ ନିୟମ

ବହୁ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ଆଲୋକ ନିର୍ଗମନ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ଅଧ୍ୟୟନ କରିବା ଆରମ୍ଭରୁ ଗୋଟିଏ ଭେକ୍ଟର ମଡ଼େଲ ବ୍ୟବହାର କରିବା ସହଜ ହେବ । ଏଥିରେ Ze ଚାର୍ଜଯୁକ୍ତ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଚାରିପଟେ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ବାଦଲ ଗୋଟି ଗୋଟି ହୋଇ Zଟି ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଲଗି ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଥାଏ, ଏ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଅନୁ. ୧୫.୧ରେ

ଆଲୋଚିତ ଏକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଅବସ୍ଥାରେ ଥାନ୍ତି ଓ ପ୍ରତ୍ୟେକ n, l, m_l ଓ m_s ଏହି ଚାରୋଟି କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟାଦ୍ୱାରା ପରିଚିତ ହୁଅନ୍ତି । ଯଦିଓ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବାଦଲ ମଧ୍ୟରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନେ ସେମାନଙ୍କର ଅକ୍ଷ ବୁଲି ଘୂରିଥାନ୍ତି, ଏ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କୌଣିକ ସଂବେଗ, କକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗ ସହିତ ସଂଯୁକ୍ତ ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ପୂରା ପରମାଣୁକୁ ଦିଅନ୍ତି ବୋଲି ଆମେ ଅନୁମାନ କରିପାରିବା । ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକର ପରିଣାମୀ କୌଣିକ ସଂବେଗକୁ $\vec{A}_j$ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରାଯାଏ ।

ପୂର୍ବତନ ଯାନ୍ତ୍ରିକରେ ଯେକୌଣସି ଏକୁଟିଆ ଥିବା ମଣ୍ଡଳର ଭେକ୍ଟର କୌଣିକ ସଂବେଗ ସମୟ ଅନୁସାରେ ବଦଳେନାହିଁ । ତା'ର ଅନୁରୂପ ଭାବରେ, କୌଣସି ପରମାଣୁ ବାହ୍ୟ ବଳଦ୍ୱାରା ପ୍ରଭାବିତ ନହେଲେ, ତା'ର କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକୁ ଏପରି ବର୍ଣ୍ଣନା କରାଯାଇପାରିବ ଯେ, ଯେତେବେଳେ ପରମାଣୁଟି ସେଥିରୁ ଗୋଟିକରେ ଥିବ, ଏହାର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକରେ ମୋଟ କୌଣିକ ସଂବେଗ A_jର ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରିମାଣ

$$A_j = \sqrt{j(j+1)}\hbar \qquad (୧୭·୧)$$

ରହିବ ଏବଂ ଏହାର ବସ୍ତୁତ୍ୱ କେନ୍ଦ୍ର ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଟଣାଯାଇଥିବା କୌଣସି Z ଅକ୍ଷରେ ଏହାର ସଂଯୋଜକର ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ମୂଲ୍ୟ

$$(\vec{A}_j)_z = M_j\hbar \qquad (୧୭·୨)$$

ହେବ; ଏଠାରେ j ଓ m_j କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାର ଧର୍ମଗତ ଦୁଇଟି କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା । j ସଂଖ୍ୟାଟି ଗୋଟିଏ ଯୁକ୍ତପୂର୍ଣ୍ଣ ସଂଖ୍ୟା ବା ଅର୍ଦ୍ଧପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ବା ଶୂନ୍ୟ ଓ m_jର ମୂଲ୍ୟ $m_j = -j$ ଓ $m_j = j$ ମଧ୍ୟରେ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ଅନ୍ତରରେ ଥିବା ସଂଖ୍ୟାସବୁ (ଏଥିରେ ଉକ୍ତ ଦୁଇ ମୂଲ୍ୟ ଅନ୍ତର୍ଗତ) । ତେଣୁ j ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ବା ଅର୍ଦ୍ଧପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ହେବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ m_j ମଧ୍ୟ ସେହିପରି ହେବ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ଯଦି $j=0$, $m_j=0$; ଯଦି $j=\frac{1}{2}$, $m_j=\frac{1}{2}$ ବା $-\frac{1}{2}$; ଯଦି $j=1$, $m_j=1$ ବା 0 ବା -1; ଇତ୍ୟାଦି ।

j ଓ m_j ଦୁହେଁ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ହେବେ କି ଅର୍ଦ୍ଧପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ହେବେ ତାହା ସ୍ଥିର କରିବା ନିୟମ ଅନୁ: ୧୫·୧ରେ ବର୍ଣ୍ଣିତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ବସ୍ତୁର ଭିନ୍ନ

ଅବସ୍ଥାନ୍ କରାଯାଇପାରିବ । ସେହି ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକରେ ପ୍ରତି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା m_l ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ଓ m_s ହୁଏତ $\frac{1}{2}$ ବା $-\frac{1}{2}$ ହୁଅନ୍ତି ଏବଂ ବଛାଯାଇଥିବା ଅକ୍ଷ ସ୍ୱପକ୍ଷେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ମୋଟ କୌଣିକ ସଂବେଗ ହେବ $[\Sigma(m_l+m_s)]\hbar$, ଏଠାରେ ଯୋଗ Σ ପରମାଣୁର ସବୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ ନେବାକୁ ହେବ । ତେଣୁ,

$$m_j=\Sigma\,(m_l+m_s) \qquad (୧୭.୩)$$

ଏହି ସମୀକରଣ ଏବଂ m_l ଓ m_sର ମୂଲ୍ୟର ଗୁଣରୁ m_j ଓ ତେଣୁ j ମଧ୍ୟ ପୂର୍ଣ୍ଣ ସଂଖ୍ୟା ହେବ ଯେତେବେଳେ ପରମାଣୁରେ ଯୁଗ୍ମସଂଖ୍ୟକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଥିବ ଏବଂ ଅର୍ଦ୍ଧପୂର୍ଣ୍ଣ ସଂଖ୍ୟା ହେବ ସେତେବେଳେ ଏଥିର ଅଯୁଗ୍ମ ସଂଖ୍ୟକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଥିବ । ଏକଥା ସ୍ପଷ୍ଟ ଜଣା ପଡ଼ୁଛି । ଆହୁ ମଧ୍ୟ ଦେଖାଯାଉଛି ଯେ, m_jର ସର୍ବାଧିକ ସମ୍ଭବ ମୂଲ୍ୟ ଓ ସେହି କାରଣରୁ j ର ମଧ୍ୟ ହେବ $\Sigma l+\dfrac{N}{2}$, ଏଠାରେ ପରମାଣୁରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ମୋଟ ସଂଖ୍ୟା ହେଲା N, କୌଣସି ଗୋଟିଏ m_l ପାଇଁ ସର୍ବାଧିକ ମୂଲ୍ୟ ହେଲା l ଏବଂ ଏହି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ m_s $\frac{1}{2}$ରୁ ଅଧିକ ହୋଇପାରିବ ନାହିଁ ।

ଗୋଟିଏ ଭେକ୍ଟର ଚିତ୍ର ସାହାଯ୍ୟରେ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା j ଓ m_j ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ସମ୍ବନ୍ଧ ଜାଣି ହେବ, ଠିକ୍ ଯେପରି ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ l ଓ m_l ମଧ୍ୟରେ ସମ୍ବନ୍ଧ ଦେଖାଯାଇଥିଲା (ଅନୁ: ୧୪.୫) । ଏକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପରମାଣୁ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଯେପରି ହୋଇଥାଏ କୌଣିକ ସଂବେଗର ଅକ୍ଷ ସ୍ୱପକ୍ଷେ କୌଣସି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ azimuth ନଥାଏ ଏବଂ ଅକ୍ଷ ପ୍ରତି ଲମ୍ବ ଭାବରେ ଏହାର ସଂଘଟକମାନଙ୍କର କୌଣସି ମୂଲ୍ୟ ନଥାଏ ।

(କ) ନିର୍ବାଚନ ନିୟମ :

j ଓ m_j ପାଇଁ ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକ ନିମ୍ନଲିଖିତ ନିର୍ବାଚନ ବ୍ୟବସ୍ଥା ନିୟମ ଦେଉଅଛି । ଏଗୁଡ଼ିକର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରୋସ୍କୋପୀରେ ପ୍ରାଧାନ୍ୟ ବହୁତ ବେଶୀ । କୌଣସି ପରମାଣୁରେ ଫୋଟନର ବିମେରୁ ବିକିରଣ ବା ଶୋଷଣ ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ ସଂକ୍ରମଣ, j ଅପରିବର୍ତ୍ତିତ ରହିପାରେ ବା ଏହା ଏକ ବଢ଼ିପାରେ ବା ଏକ କମିପାରେ; କିନ୍ତୁ ଏହାଠାରୁ ଅଧିକ ପରିମାଣରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇପାରିବନାହିଁ । ଅର୍ଥାତ୍ ଯେଉଁ ଦୁଇ ଅବସ୍ଥା ମଧ୍ୟରେ

ସଂକ୍ରମଣ ଘଟିବ, ସେ ଦୁଇଙ୍କର jର ମୂଲ୍ୟ ଯଦି j_1 ଓ j_2 ହୁଏ, ତେବେ ହୁଏତ $j_1=j_2$ ବା $j_1-j_2=1$ ବା $j_1-j_2=-1$ । m_l ପାଇଁ ସେହି ନିୟମ । ଆଉ ମଧ୍ୟ, $j=0$ ଅବସ୍ଥାକୁ କୌଣସି ସଂକ୍ରମଣ ହୁଏନାହିଁ । ସଙ୍କେତରେ ପ୍ରକାଶ କଲେ,

$$\Delta j=0 \text{ ବା } \pm 1 \text{ (ଏବଂ } 0\rightarrow 0 \text{ ନୁହେଁ)}$$

$$\Delta m_l=0 \text{ ବା } \pm 1 \qquad (୧୭.୪)$$

ତେବେ ଏହି ବର୍ଜ୍ଜ ନିୟମ ସବୁବେଳେ ପାଳିତ ହୁଏନାହିଁ; ବେଳେବେଳେ ଚତୁଃମେରୁ ବିକିରଣ ଲାଗି ସଂକ୍ରମଣ ହୋଇଥାଏ--ତାପାଇଁ ନିୟମ ହେଲା $\Delta j \pm 2$ ବା $\Delta m_l=\pm 2$ । ଏପ୍ରକାର ସଂକ୍ରମଣ ଲାଗି ହେଉଥିବା ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ଅଧିକାଂଶ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଅତି ଦୁର୍ବଳ ହୋଇଥାନ୍ତି ।

ଏହି ବର୍ଜ୍ଜ ନିୟମର ପୁରାତନ ତତ୍ତ୍ୱରେ ଅନୁରୂପ ଧାରଣା ରହିଅଛି (ଏବଂ ଏହା ପ୍ରଥମେ ସେହି ଅନୁସାରେ ପ୍ରସ୍ତାବିତ ହୋଇଥିଲା) । ପୁରାତନ ଯାନ୍ତ୍ରିକରେ କକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଗତି ସଙ୍ଗେ ସଂପୃକ୍ତ । ମନେକର ଗୋଟିଏ ଘୂର୍ଣ୍ଣନଶୀଳବସ୍ତୁ କୌଣସିପ୍ରକାରର ଗୋଟିଏ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଦୋଳକ ଧାରଣ କରିଛି, ଯେଉଁତେବେଳେ ବସ୍ତୁଟି ସ୍ଥିର ଅଛି ସେତେବେଳେ ଏହି ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଦୋଳକଟି ν ଆବୃତ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ବିକିରଣ ନିଷ୍କାସନ କରୁ । ତେବେ, ଯଦି ବସ୍ତୁଟିକୁ କୌଣିକ ଗତିବେଗ wରେ ଘୂରାଇ ଦିଆଯାଏ, ଏଥିରୁ ନିଷ୍କାସିତ ବିକିରଣରେ ଠିକ୍ ତିନୋଟି ଆବୃତ୍ତି ରହିବ ν, $\nu+w$, $\nu-w$ । ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରର ପୁରାତନ ନିୟମ ଅନୁସାରେ ଦୋଳାୟମାନ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଉପରେ ପ୍ରଭାବ ଏହିପରି ବର୍ଣ୍ଣନା କରାଯାଇପାରିବ; ଅନୁ ୬୩ରେ ଜିମାନ୍ ପ୍ରଭାବର ପୁରାତନ ତତ୍ତ୍ୱରଧାରା ବର୍ଣ୍ଣନା କଲାବେଳେ ଏହା ବୁଝାଯାଇଅଛି । ପୁରାତନ ଯାନ୍ତ୍ରିକର ଏହି ତିନୋଟି ଆବୃତ୍ତି $\nu+w$, ν, $\nu-w$ (ବିକିରଣରେ) m_lର ତିନୋଟି ସମ୍ଭାବ୍ୟ ପରିବର୍ତ୍ତନର ଅନୁରୂପ । ଏହା ବୋର୍‌ଙ୍କର ଅନୁରୂପ ନିୟମର ଏକ ଉଦାହରଣ ।

(ଖ) ପୂର୍ଣ୍ଣ ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷଜାନଙ୍କର କୌଣିକ ସଂବେଗ

ଅନୁ. ୧୫·୨ରେ ପାରମାଣବିକ ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷମାନଙ୍କର ବର୍ଣ୍ଣନାରୁ ଏହା ସ୍ପଷ୍ଟ ଯେ, ଗୋଟିଏ ପୂର୍ଣ୍ଣ ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର

ସମତଳ ହୋଇଥାଏ, କେବଳ ଦୁହିଁଙ୍କର m_1 ଚିହ୍ନ ବଦଳି ଯାଇଥାଏ ଓ m_sର ମୂଲ୍ୟଗୁଡ଼ିକ ମଧ୍ୟ ସେହିପରି ଯୋଡ଼ ଯୋଡ଼ ହୋଇଯାଇଥାଏ । ତେଣୁ $M_J = \Sigma m_1 + \Sigma m_s = 0$ । ଏହି ଘଟଣାରୁ ସୂଚନା ମିଳେ ଯେ $J = 0$ ହେବ ଏବଂ ଏହି ତଥ୍ୟାଧାର ଚିହ୍ନ କୁ ଭୂଲ ତତ୍ତ୍ୱରୁ ସ୍ଥିର କରାଯାଇ ପାରିବ । ଅଭ ମଧ୍ୟ, ସ୍ୱତନ୍ତ୍ରଭାବରେ, $\Sigma m_1 = 0$ ଓ $\Sigma m_s = 0$ ଓ ସେହିପରି ସ୍ୱଭାବରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇ ପାରିବ ଯେ, ଗୋଟିଏ ପୂର୍ଣ୍ଣ ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ମୋଟ କକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗ ଏହିପରି ଲୋପ ପାଇଯିବ, ଘୂର୍ଣ୍ଣନର ପରିଣାମୀ କୌଣିକ ସଂବେଗ ମଧ୍ୟ ଲୋପ ପାଇଯିବ ।

ତେଣୁ, ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁର ମୋଟ କୌଣିକ ସଂବେଗର ବିସ୍ତାରରେ ସମସ୍ତ ପୂର୍ଣ୍ଣ ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷକୁ ଅବହେଳା କରାଯାଇପାରେ । ଗୋଟିଏ ନୋବଲ୍ ଗ୍ୟାସର ପରମାଣୁରେ ସାଧାରଣ ଅବସ୍ଥାରେ ପୂର୍ଣ୍ଣ ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷମାନଙ୍କରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଦଳ ଦଳ ହୋଇ ଯାଇଥାନ୍ତି, ତେଣୁ ଏତେବେଳେ ନିଶ୍ଚିତ ଭାବରେ $j = 0$ ହୁଏ । ଉପର ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷଗୁଡ଼ିକ ପୂର୍ଣ୍ଣ ଥାଇ ବାହାରେ ଗୋଟିଏ ବା ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଥିବା ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକର କୌଣିକ ସଂବେଗ (କକ୍ଷୀୟ, ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ବା ମୋଟ) ରହିବ ଓ ଏହା ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣଭାବରେ ବାହ୍ୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ନିର୍ଣ୍ଣିତ ହେବ । ପୂର୍ଣ୍ଣ ଥିବା ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷଗୁଡ଼ିକ କୌଣସି ଅବଦାନ ଏଥିପାଇଁ ଦେବେନାହିଁ । ପରମାଣୁର କୌଣିକ ସଂବେଗର ବିସ୍ତାର ଏଥିପାଇଁ ବହୁ ଭାବରେ ସରଳ ହୋଇଯାଏ ।

17.2 ଆଲ୍‌କାଲି ପ୍ରକାରର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ :

ଏଠାରେ ସୁବିଧା ଦୃଷ୍ଟିରୁ ସରଳତମ ପ୍ରକାରର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର ସ୍ଥୂଳ ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକ ବର୍ଣ୍ଣନା କରିବା ଗୋଟିଏ ବା ଦୁଇଟି ପୂର୍ଣ୍ଣ ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷର ବାହାରେ ଗୋଟିଏ ସଂଯୋଜକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଥିବା ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଏପ୍ରକାରର ବିକିରଣ ହୋଇଥାଏ । ଏପ୍ରକାରର ସୂଷମ ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ହେଲେ—ଆଲ୍‌କାଲି ଧାତୁସବୁ, ଲିଥିୟମ୍, ସୋଡ଼ିୟମ, ପଟାସିୟମ, ରୁବିଡ଼ିୟମ୍ ବା ସିସିୟମ । ବେରିଲିୟମ, ମାଗ୍ନେସିୟମ, କାଲ୍‌ସିୟମ ଷ୍ଟ୍ରନ୍‌ସିୟମ ବା ବେରିୟମର ଏକ-ଆୟନୀଭୂତ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ଏବଂ ବୋରନ୍ ବା ଅଲୁମିନିୟମର ଦ୍ୱି-ଆୟନୀଭୂତ ପରମାଣୁମାନ ଏହାର ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ଉଦାହରଣ ।

ଏପ୍ରକାର ପରମାଣୁରେ କେବଳ ସଂଯୋଜକ ଇଲେକଟ୍ରନଟି ସକ୍ରିୟ ଥାଏ ଓ କେବଳ ଏହାର କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟାଗୁଡ଼ିକ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ହୁଏ । ବର୍ତ୍ତମାନ ପାଇଁ, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନକୁ ଆମେ ହିସାବକୁ ନେବାନାହିଁ । ଗୋଟିଏ ବାହ୍ୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଥିବା ପରମାଣୁର କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା n ଓ l ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ । ଏକ୍ଷେତ୍ରରେ l କେବଳ ସଂଯୋଜକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର କୌଣିକ ସଂବେଗ ଦିଏନାହିଁ, ଏହା ସମସ୍ତ ପରମାଣୁର ସମସ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଙ୍କର ମୋଟ କୌଣିକ ସଂବେଗ ଦେଇଥାଏ, କାରଣ ପୂର୍ଣ୍ଣ ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷଗୁଡ଼ିକର ମୋଟ କୌଣିକ ସଂବେଗ ଶୂନ୍ୟ ହୁଏ, ତେବେ, ପୂର୍ଣ୍ଣ ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷମାନଙ୍କ ବାହାରେ ଯେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ ବା ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଥାଏ; ଏହି ମୋଟ କୌଣିକ ସଂବେଗ ଗୋଟି ଗୋଟି କରି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଙ୍କର କୌଣିକ ସଂବେଗର ପରିଣାମୀ ହୋଇଥାଏ । ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ମଣ୍ଡଳଟିର ମୋଟ କକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗ ହେବ $\sqrt{L(L+1)}\,\hbar$ (ଅନୁ: ୧୭.୭),

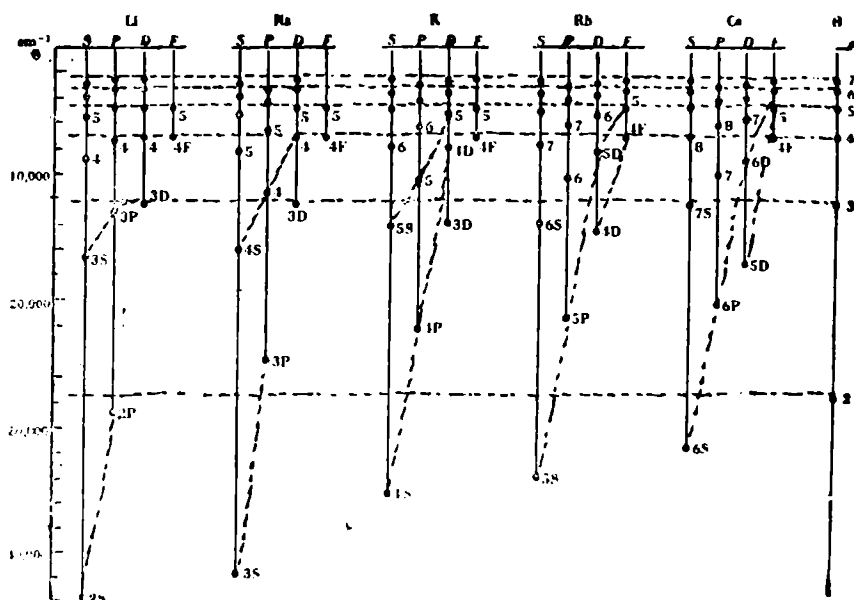
ଏଠାରେ L ହେଲା ଶୂନ୍ୟ ବା ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା; ତେବେ ଆଲ୍କାଲିମାନଙ୍କ ପାଇଁ $L=l$ ହେବ । ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ଶକ୍ତିସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ବଡ଼ ଅକ୍ଷରରେ ନିମ୍ନର ପ୍ରଥା ଅନୁସାରେ ନାମିତ ହୋଇଥାଏ;

L	0	1	2	3	4	5	6	7
	S	*P*	*D*	*F*	*G*	*H*	*I*	K

ସାଧାରଣ ସ୍ତରରେ, ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ମଣ୍ଡଳ ପାଇଁ ବଡ଼ ବଡ଼ ଅକ୍ଷର L, S, J ବ୍ୟବହାର କରିବା ପ୍ରଚଳିତ ପ୍ରଥା — ଏହା ଗୋଟି ଗୋଟି କରି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର l, s ଓ j ଦ୍ୱାରା ସୂଚିତ କୌଣିକ ସଂବେଗଗୁଡ଼ିକର ପରିଣାମଗୁଡ଼ିକୁ ବୁଝାଇଥାଏ ।

ଚିତ୍ର ୧୭.୧ରେ ଆଲ୍କାଲିମାନଙ୍କର ଶକ୍ତିସ୍ତରଗୁଡ଼ିକର ସ୍ଥୂଳ ଘଟଣାସବୁ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି; S ସ୍ତର ଛଡ଼ା ଅନ୍ୟ ସ୍ତରମାନଙ୍କର ଧର୍ମ, ଦ୍ୱିଧାର ସୂକ୍ଷ୍ମଗଠନ, ଏଥିରେ ଦେଖାଯାଇନାହିଁ । ତା ସମ୍ବନ୍ଧରେ ନିମ୍ନ ଅନୁଚ୍ଛେଦରେ ବର୍ଣ୍ଣନା କରାଯିବ । ଏ ଚିତ୍ରରେ ଶକ୍ତି ତରଙ୍ଗ ସଂଖ୍ୟାରେ ଦିଆଯାଇଅଛି ଅର୍ଥାତ୍ ଏକକ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ତରଙ୍ଗ

ସଂଖ୍ୟାରେ ବା 1/λରେ ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଅଛି । କାରଣ ଏହି ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟକୁ ଆଲୋକ ବୈଜ୍ଞାନିକମାନେ ମାପ କରିଥାନ୍ତି । ସର୍ବାଧିକ L ପାଇଁ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ସ୍ତରର ଅନୁରୂପ ମୂଲ୍ୟର ନିକଟତମ । କ୍ଷୁଦ୍ର L ମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଶକ୍ତିସ୍ତର ଗୁଡ଼ିକ ଅନ୍ତର୍ଭେଦୀକକ୍ଷ ପ୍ରଭାବ ଫଳରେ (ଅନୁ:୧୫·୬) ତଳକୁ ରହିଯାଏ ।



[ଚିତ୍ର ୧୭·୧ 50000 ଓ 20000 cm^{-1} ମଧ୍ୟରେ ପାଞ୍ଚ ଆଲ୍‌କାଲି ଧାତୁ ଓ ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ଶକ୍ତିସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ । ସମସ୍ତ ସୂକ୍ଷ୍ମଗଠନ ଅବହେଳା କରାଯାଇଅଛି]

ଯେତେବେଳେ ସଂଯୋଜକ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଗୋଟିଏ ସ୍ତରରୁ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ସ୍ତରକୁ ସଂକ୍ରମିତ ହୁଏ, ସେତେବେଳେ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମର ରେଖାସବୁ ଉତ୍ପନ୍ନ ହୋଇଥାଏ; ଦୁଇଟି ଅବସ୍ଥା ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ଶକ୍ତି ତାରତମ୍ୟ ଫୋଟନର ଶକ୍ତି ସହିତ ସମାନ । କେବଳ ଯେଉଁ ସଂକ୍ରମଣଗୁଡ଼ିକ ବରଣ ନିୟମ ସଙ୍ଗେ ଖାପ ଖାଏ, ସେଗୁଡ଼ିକ ଅନୁମୋଦିତ ଅଟେ । କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା L ସାଧାରଣତଃ ନିମ୍ନ ବରଣ ନିୟମ ମାନିଥାଏ ।

$\Delta L = 0, \pm 1$; ତେଣିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ $\Delta L = \pm 1$ (୧୭୫)
ତେଣୁ, S ଓ F ସ୍ତରମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ କୌଣସି ଦ୍ୱିମେରୁ ତେଜ ସମ୍ଭବ ହୁଏନାହିଁ। ଗୋଟିଏ ସକ୍ରିୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ, ଅର୍ଥାତ୍ ଯେତେବେଳେ $L=l$, $\Delta L = \pm 1$ କେବଳ ହେବ।

ଅଲ୍‌କାଲିମାନଙ୍କ ପାଇଁ ସବୁଠାରୁ ଉଜ୍ଜ୍ୱଳ ରେଖାସବୁ Fରୁ S ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକୁ ସଂକ୍ରମଣବେଳେ ସୃଷ୍ଟ ହୋଇଥାଏ। ସେଗୁଡ଼ିକୁ ପ୍ରଧାନ ସିରିଜର ରେଖା ବୋଲି କୁହାଯାଏ। ଗୋଟିଏ $S \rightarrow P$ ସଂକ୍ରମଣ ଦ୍ୱାରା ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଥିବା ରେଖା ତୀକ୍ଷ୍ଣ ସିରିଜର ଅନ୍ତର୍ଗତ (ଅନୁ: ୧.୨); Dରୁ P ସ୍ତରକୁ ସଂକ୍ରମଣ ମଳିନ ସିରିଜର ଅନ୍ତର୍ଗତ ହୁଏ। $F \rightarrow D$ ସଂକ୍ରମଣ ଦ୍ୱାରା ସୃଷ୍ଟ ଯୋଡ଼ିସମୂହ ଗୋଟିଏ ସିରିଜ୍ ବର୍ତ୍ତମାନ ନାଲି ପୂର୍ବରେ ଦେଖିଥିଲେ। ଏଥିପାଇଁ କେତେକ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ରେଖାର ନିକଟତମ ଶକ୍ତିସବୁ ମିଳିଥିଲା। ଏହାକୁ ମୂଳ ସିରିଜ୍ କୁହାଗଲା। ଅଲ୍‌କାଲି ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରୁ ମିଳୁଥିବା ଏହି ଭିନ୍ନ ନାମରୁ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରୋସ୍କୋପିଷ୍ଟମାନେ ବ୍ୟବହାର କରୁଥିବା ଦ୍ୱୈତପୂର୍ଣ୍ଣ ନାମ S, P, D, F ଏଗୁଡ଼ିକ Sharp (ତୀକ୍ଷ୍ଣ), Principal (ପ୍ରଧାନ), diffuse (ମଳିନ), fundamental (ମୂଳ) ନାମରୁ ଜନ୍ମ] ଗୁଡ଼ିକର ଜନ୍ମ–ଏହାହିଁ ଏ ନାମକରଣ ପଛରେ ଇତିବୃତ୍ତ। ଏଗୁଡ଼ିକ ଭିନ୍ନ L ମୂଲ୍ୟର (ବା ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ ଅନୁରୂପ ଛୋଟ ଅକ୍ଷରର) ସୂଚନା ଦିଏ। Lର ଉଚ୍ଚତର ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ ପରେ J ଛଡ଼ା ଅନ୍ୟ ଅକ୍ଷରସବୁ ବ୍ୟବହାର କରାଯିବା ପାଇଁ ସମସ୍ତେ ରାଜି ହୋଇଥିଲେ।

17.3 ଅଲ୍‌କାଲି ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ସୂକ୍ଷ୍ମଗଠନ :

ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-କକ୍ଷ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଫଳରେ ପରମାଣୁର ଶକ୍ତି, ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଓ କୌଣିକ ସଂବେଗମାନଙ୍କର ଆପେକ୍ଷିକ ଅବସ୍ଥାନ ଉପରେ ମଧ୍ୟ ନିର୍ଭର କରିଥାଏ (ସମୀକରଣ ୧୪.୧୯)। ଗୋଟିଏ ଅଲ୍‌କାଲି ପରମାଣୁ ପାଇଁ ପରିଣାମୀ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କୌଣିକ ସଂବେଗ ହେବ $\sqrt{(\frac{1}{2})(\frac{3}{2})}\hbar$ କାରଣ ପୂର୍ଣ୍ଣ ଅଭ୍ୟନ୍ତରର ଅବଦାନ ଶୂନ୍ୟ ହେତୁ କେବଳ ସଂଯୋଜକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ମଣ୍ଡଳର ମୋଟ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସଂବେଗ ହେବ।

ଏଠାରେ ମଧ୍ୟ ପୂର୍ବ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ମଣ୍ଡଳର କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା ସୂଚାଇବା ପାଇଁ ବଡ଼ ଅକ୍ଷର ବ୍ୟବହାର କରିବା ପ୍ରଚଳିତ ପ୍ରଥା ଏବଂ ପରମାଣୁର ମୋଟ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା ସୂଚାଇବା ପାଇଁ S ବ୍ୟବହାର କରାଯାଏ ।

ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ ସୋଡ଼ିୟମ ପରମାଣୁ ପାଇଁ ସଂଯୋଜକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର $n=3$, $l=0$ ଓ $s=\frac{1}{2}$ ହେବ; ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ମଣ୍ଡଳ ପାଇଁ $L=0$, $S=\frac{1}{2}$, $j=\frac{1}{2}$ । ଏହି ଅବସ୍ଥାକୁ $3S^2S_{\frac{1}{2}}$ ବା $3^2S_{\frac{1}{2}}$ ବୋଲି ଲେଖିବା ପ୍ରଚଳିତ ପ୍ରଥା; ଏହାକୁ "ଥ୍ରି ଡବ୍ଲେଟ୍ ଏସ୍ ଅର୍ଦ୍ଧେକ' ବୋଲି ପଢ଼ାଯାଏ । ଏଠାରେ ପ୍ରଥମ ସଂଖ୍ୟାଟି n ପାଇଁ, ପୂର୍ବ ଲେଖଟି $2S+1$ ପାଇଁ, ଅକ୍ଷରଟି L ପାଇଁ ଓ ତଳଲେଖଟି J ପାଇଁ ଲେଖାଯାଏ । ଅନ୍ୟ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ସେହିପରି ନାମିତ ହୋଇଥାଏ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, $4^2D_{\frac{5}{2}}$ ର୍ଅଥ, ବାହ୍ୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟିର $n=4$, ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କ୍ୱାଣ୍ଟମସଂଖ୍ୟା S ହେଲା $\frac{1}{2}$, $L=2$ ଓ $J=\frac{5}{2}$ ।

ଘୂର୍ଣ୍ଣନକକ୍ଷ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାର ପ୍ରଭାବ ହେଲା ଶକ୍ତିସ୍ତରଗୁଡ଼ିକୁ ଦୁଇଭାଗରେ ଭାଙ୍ଗି ଦେବା ବା ପଦଗୁଡ଼ିକୁ ଦୁଇଭାଗ କରିଦେବା; ଗୋଟିକର $J=L+\frac{1}{2}$ ଓ ଅନ୍ୟଟିର $J=L-\frac{1}{2}$ । କେବଳ S ପଦଗୁଡ଼ିକ ($L=0$) ଏ ଗୋଟିକଆ, ଏହାର $j=\frac{1}{2}$ । ପ୍ରାୟ ସବୁବେଳେ ବୃହତ୍ତର jର ଶକ୍ତି ଅଧିକ ବୋଲି ପରୀକ୍ଷାରୁ ମିଳିଥାଏ । ଗୋଟିଏ ଉଦାହରଣ ନେଲେ, ସୋଡ଼ିୟମର ଶକ୍ତିସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ଚିତ୍ର ୧୭'୬ରେ ଦେଖାଯାଇଅଛି । ଏହି ଚିତ୍ରରେ ପ୍ରତ୍ୟେକ ସ୍ତର ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ସ୍ଥୂଳ ଅନୁଭୂମିକ ରେଖାଦ୍ୱାରା ଚିହ୍ନିତ ହୋଇଅଛି । ଚିତ୍ରରୁ P ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ଭାଗଯାଇଥିବା ଦେଖାଯାଉଅଛି, S, P ପ୍ରଭୃତିର ପରଲେଖ J ମୂଲ୍ୟ ସୂଚାଉଅଛି । ଏଥିରୁ ସୂକ୍ଷ୍ମଗଠନ ସୂକ୍ଷ୍ମସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ବାହାର ହୋଇଯାଉଛି: D ଓ F ପାଇଁ ଏହା ସ୍ପଷ୍ଟଭାବରେ ଦେଖାଯାଇନାହିଁ । ଅୟନନ ଅବସ୍ଥା ପାଇଁ (ନିଷ୍କାସିତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର କୌଣସି ଗତିଜ ଶକ୍ତି ନଥିଲେ) ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତିକୁ ଶୂନ୍ୟ ଧରି ତଳକୁ ତଳକୁ ମାପ କରି ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତି ଦର୍ଶାଯାଇଅଛି, ଏହି ପଦଗୁଡ଼ିକୁ ତରଙ୍ଗସଂଖ୍ୟା ଏକକରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇଅଛି । ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକର ପାଖରେ ଯେଉଁ ସଂଖ୍ୟାଗୁଡ଼ିକ ଲେଖାଯାଇଅଛି, ତାହା nର ମୂଲ୍ୟସବୁ । ପ୍ରଧାନ ପ୍ରଧାନ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ରେଖାସବୁ ବକ୍ରରେଖାଦ୍ୱାରା A° ଏକକରେ ତରଙ୍ଗ

ଦୈର୍ଘ୍ୟ ସୂଚିତ ହୋଇଅଛି । $\Delta l=0,\ \pm 1$ ବର୍ଣ୍ଣ ନିୟମଟିକୁ ନମାନୁଥିବା ଗୋଟିଏ ଦୁର୍ବଳ ରେଖା $(3S\leftarrow 3D)$* ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି ।

ସୋଡ଼ିୟମ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର ସର୍ବାଧିକ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ଘଟଣା ହେଲା, ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର ହଳଦିଆ ଅଞ୍ଚଳରେ D ରେଖାଦ୍ୱୟ । ସେଗୁଡ଼ିକ $3^2S_{\frac{1}{2}}\leftarrow 3^2P_{\frac{3}{2}}$ ଓ $3^2S_{\frac{1}{2}}\leftarrow 3^2P_{\frac{1}{2}}$ ସଂକ୍ରମଣଗୁଡ଼ିକରୁ ଜାତ ହୋଇଥାନ୍ତି । $P_{\frac{3}{2}}$ ସ୍ତର ସହିତ ଚାରୋଟି କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥା $(m_j=\frac{3}{2},\ \frac{1}{2},-\frac{1}{2},\ -\frac{3}{2})$ ଓ $P_{\frac{1}{2}}$ ସହିତ ଦୁଇଟି କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥା ସଂଶ୍ଳିଷ୍ଟ । ଗୋଟିଏ ଉତ୍ତେଜିତ ସୋଡ଼ିୟମ ପରମାଣୁ $P_{\frac{1}{2}}$ ସ୍ତରରେ ରହିବାର ସମ୍ଭାବନା ଯେତେ, $P_{\frac{3}{2}}$ ସ୍ତରରେ ରହିବାର ସମ୍ଭାବନା ତା'ର ଦୁଇଗୁଣ । ଏହା ଫଳରେ, ସୋଡ଼ିୟମର D ଦ୍ୱିଧାର ମଧ୍ୟରୁ କ୍ଷୁଦ୍ରତରଟି ଅନ୍ୟଟି ଅପେକ୍ଷା ଦୁଇଗୁଣ ଅଧିକ ଉଜ୍ଜ୍ୱଳ । ଦୁଇଟି ଭିନ୍ନ nl ପଦ ମଧ୍ୟରେ ସଂକ୍ରମଣ ବହୁ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ରେଖା ଦେଇଥାଏ, ଏଥିରୁ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର ଗୋଟିଏ ବହୁଧାର (ଚିତ୍ର ୧୭'୩) ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଥାଏ । ବର୍ଣ୍ଣ ନିୟମ $\Delta j=0,\ \pm 1$ ଅନୁସାରେ କୌଣସି S ପଦର ଗୋଟିଏ ସ୍ତର $^2S_{\frac{1}{2}}$ ଏବଂ $^2P_{\frac{1}{2}}$ ଓ $^2P_{\frac{3}{2}}$ ଏପରି Pର ଦୁଇଟି ସ୍ତର ମଧ୍ୟରୁ ଗୋଟିଏ ମଧ୍ୟରେ ସଂକ୍ରମଣ ହୋଇଥାଏ । ଗୋଟିଏ P ଓ D ମଧ୍ୟରେ (ଏଥିରେ $^2D_{\frac{3}{2}}$, $^2D_{\frac{5}{2}}$ ସ୍ତରଦ୍ୱୟ ଅଛି) ତିନୋଟି ସଂକ୍ରମଣ ସମ୍ଭବ ଅର୍ଥାତ୍ $^2P_{\frac{1}{2}}\leftarrow {}^2D_{\frac{3}{2}}$, $^2P_{\frac{3}{2}}\leftarrow {}^2D_{\frac{3}{2}}$ $^2P_{\frac{3}{2}}\leftarrow {}^2D_{\frac{5}{2}}$ ($^2P_{\frac{1}{2}}\leftarrow {}^2D_{\frac{5}{2}}$ଟି ନଥିବ, କାରଣ $\Delta j=2$) । ପରିଣାମୀ ତିନିରେଖା ଗୋଟିଏ ଯୌଗିକ ଦ୍ୱିଧାର ନାମରେ ପରିଚିତ । ତେଣୁ ଅଲ୍‌କାଲି ଧାତୁମାନଙ୍କର ପ୍ରଧାନ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ଦ୍ୱିଧାର ଓ ଯୌଗିକ ଦ୍ୱିଧାର ଥାଏ, ତେଣୁ ସ୍ତରଟିକୁ ନାମ ଦେବାରେ ପୂର୍ବ ଲେଖ 2 ବ୍ୟବହାର କରାଯାଏ ।

---

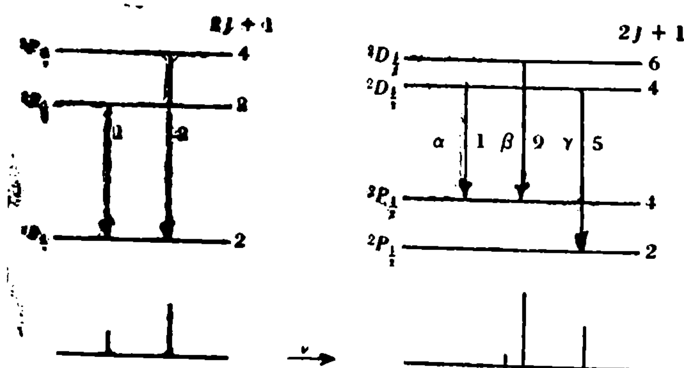
* ସ୍ପେକଟ୍ରୋସ୍କୋପିଷ୍ଟମାନେ ପ୍ରଥମେ ଶେଷ ଅବସ୍ଥା ଓ ପରେ ପ୍ରଥମ ଅବସ୍ଥା ଲେଖିଥାନ୍ତି । ଆମେ ସେହିପରି ଲେଖିବା, କେବଳ ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକୁ ମନେ ପକାଇବାପାଇଁ ତୀର ଚିହ୍ନଟିଏ ଦେବା ।

[ଚିତ୍ର ୧୭·୬ ସୂକ୍ଷ୍ମ ସୋଡ଼ିୟମ ପାଇଁ ଶକ୍ତିସ୍ତର ଚିତ୍ର; ଗାଢ଼ତର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ଉଜ୍ଜ୍ୱଳ ଏଥିରେ ଦେଖାଯାଇଛି । ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ତୁଳନା କରିବାପାଇଁ ଦେଖାଯାଇଅଛି (ଆଙ୍ଗଷ୍ଟ୍ରମ ଏକକରେ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ; ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ପାଖରେ ଥିବା ସଂଖ୍ୟାସବୁ n ର ମୂଲ୍ୟ)]

ଗୋଟିଏ ଯୌଗିକ ଦ୍ୱିଧାରର ଆପେକ୍ଷିକ ତୀବ୍ରତା ବର୍ଗର—ଡର୍ଗଲୋ—ଅର୍ଣ୍ଷ୍ଟେନ ଯୋଗ ନିୟମରୁ ହିସାବ କରାଯାଇ ପାରିବ ।

ଏକା ଅବସ୍ଥାରୁ ଆରମ୍ଭ ହୋଇଥିବା ବା ଏକା ଅବସ୍ଥାରେ ଶେଷ ହୋଇଥିବା ଗୋଟିଏ ବହୁଧାରର ସମସ୍ତ ରେଖାର ତୀବ୍ରତାମାନଙ୍କର ଯୋଗଫଳ ଯଥାକ୍ରମେ ଆରମ୍ଭ ଓ ଶେଷ ଅବସ୍ଥାର ପରିସଂଖ୍ୟାନ ଓଜନ 2j + 1ର ଅନୁପାତୀ । $^2P \leftarrow {}^2D$ ବହୁଧାର ପାଇଁ ଚିତ୍ର ୧୭·୩ରେ ଦେଖାଯାଇଥିବା ପରି ଆପେକ୍ଷିକ ତୀବ୍ରତାଗୁଡ଼ିକ α, β, γ ହେଉ । ଆରମ୍ଭ ହେଉଥିବା ସ୍ତର ପାଇଁ ଯୋଗ ନିୟମ ଲଗାଇଲେ $\beta/(\alpha+\gamma) = \frac{6}{4}$ ଓ ଶେଷସ୍ତରକୁ ଲଗାଇଲେ $(\alpha+\beta)/\gamma = \frac{4}{2}$ ହେବ: ଏଥିରୁ ମିଳିଲା $\alpha : \beta : \gamma = 1 : 9 : 5$ । ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର ପ୍ରକୃତ ବିଶ୍ଳେଷଣବେଳେ ଏହି ଯୋଗ ନିୟମ ବଡ଼ ଦରକାରୀ, କାରଣ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରୋସ୍କୋପିଷ୍ଟ ପ୍ରଥମେ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ରେଖାର ସମ୍ମୁଖୀନ ହୁଅନ୍ତି ଓ ଏଗୁଡ଼ିକୁ ଯତ୍ନରେ ସଜାଇଦେଲେ ଯାଇଁ ଚିତ୍ର ୧୭·୨ ପରି ପଦଚିହ୍ନଟିଏ ମିଳିପାରିବ । କେବଳ ବହୁଧାରର ବିଭାଜନ ଅଳ୍ପ ହୋଇଥିଲେ ଯୋଗ ନିୟମ ବିଶ୍ୱାସଯୋଗ୍ୟ ଫଳ ଦେଇଥାଏ ।

ବହୁଧାର ଗଠନ ଓ ପଦଚିହ୍ନ ମଧ୍ୟରେ ସମ୍ପର୍କର ଦୃଢ଼ ସ୍ଥାପନ ଲାଗି ଟେବୁଲ୍ ୧୭·୧ରେ ତରଙ୍ଗ ସଂଖ୍ୟା ଓ ସୂକ୍ଷ୍ମ ସୋଡ଼ିୟମ୍‌ର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ପ୍ରତ୍ୟେକ ମୁଖ୍ୟ ସିରିଜର ପ୍ରଥମ ଯୁଗ୍ମେଟି ରେଖା ମଧ୍ୟରେ ବ୍ୟବଧାନ ଦିଆଯାଇଅଛି । ତାଙ୍କ ବିଭାଜନକୁ ପରୀକ୍ଷା



[ଚିତ୍ର ୧୭·୩ ଦ୍ୱିଧାର ସ୍ତରମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସଂକ୍ରମଣ ଓ (ତଳେ) ରେଖାମାନଙ୍କର ଆପେକ୍ଷିକ ଆବୃତ୍ତି । ଯଦି Sଟି P ଉପରେ ଥାଏ, ରେଖାମାନଙ୍କର କ୍ରମ ଓଲଟିଯିବ; ସେହିପରି ଯଦି Pଟି D ଉପରେ ରହେ]

ଦ୍ୱାରା ଠିକ୍ ବୋଲି ପ୍ରମାଣିତ ହୋଇଅଛି । ତୀକ୍ଷ୍ଣ ସିରିଜ, $3P \leftarrow nS$, ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ଦ୍ୱିଧାରକୁ ନେଇ ଗଠିତ ଏବଂ ଟେବୁଲ ୧୭.୧ର ୨ୟ ସ୍ତମ୍ଭରେ ଯେପରି ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇ ଅଛି, ଆବୃତ୍ତିର ତାରତମ୍ୟ ପରୀକ୍ଷାରେ ଥିବା ଭୁଲ ଭିତର ରହିଲେ ଧ୍ରୁବ ରହୁଅଛି । ଏହା $3^2P_{\frac{1}{2}}$ ଓ $3^2P_{\frac{3}{2}}$ ସ୍ତରମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ତାରତମ୍ୟ ବୁଝାଉଛି । ବୃଦ୍ଧ ଘ. ଣ ଉପରେ ଉଠି ଯାଇଥିବା S ସ୍ତରମାନଙ୍କର ଚରିତ୍ରକୁ ଦୃଢ଼ କରିଥାଏ ।

ପ୍ରଧାନ ସିରିଜର ରେଖାଗୁଡ଼ିକ, $3S \leftarrow nP$, ମଧ୍ୟ ଦ୍ୱିଧାରଗୁଡ଼ିକୁ ନେଇ ଗଠିତ; କିନ୍ତୁ ଆବୃତ୍ତି ତାରତମ୍ୟ (ଯାହା କି ଭିନ୍ନ P ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକର ଦୁଇ ସ୍ତର ମଧ୍ୟରେ ବ୍ୟବଧାନ ବୁଝାଇଥାଏ ଓ ସେହି କାରଣରୁ n ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଅତିବେଗରେ କମି ଯାଇଥାଏ । କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା n ଓ l ଥିବା ଗୋଟିଏ ସ୍ତରରେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-କକ୍ଷ ପ୍ରଭାବ ଫଳରେ ଦୁଇଟି ସ୍ତରର ତାରତମ୍ୟ ସମୀକରଣ (୧୪.୨୩)ରୁ ହିସାବ କରାଯାଇ ପାରିବ,

$$\Delta\bar{\nu} = \frac{\Delta E_{l+\frac{1}{2}} - \Delta E_{l-\frac{1}{2}}}{hc} = \frac{Z^4_{eff} e^2 \hbar^2 [(l+\frac{1}{2})(l+\frac{3}{2}) - (l-\frac{1}{2})(l+\frac{1}{2})]}{(hc)16\pi \in_0 m^2 c^2 a_B^3 n^3 l (l+\frac{1}{2})(l+1)}$$

$$= \frac{\alpha^2 R Z^4_{eff}}{n^3 l(l+1)} = 5.84 \frac{Z^4_{eff}}{n^3 l(l+1)} cm^{-1} \qquad (୧୭.୭)$$

ଏଠାରେ Z_{eff} = କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ପାରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା

R = ରିଡ଼ବର୍ଗ ଧ୍ରୁବ

α = ସୂକ୍ଷ୍ମଗଠନ ଧ୍ରୁବ, ସମୀକରଣ (୯.୧୦)

ତେଣୁ ଗୋଟିଏ ଏକ-ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପରମାଣୁରେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କକ୍ଷୀୟ ବ୍ୟବଧାନ $\frac{1}{n^3}$ ପରି କମିଯାଏ । ସୋଡ଼ିୟମର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ କମିବା ଏହାଠାରୁ କ୍ଷିପ୍ରତର; ଏହା ହେବାର କାରଣ ବୋଧହୁଏ n ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ Zର କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ମୂଲ୍ୟ କମିଯାଏ ।

ମଳିନ ସିରିଜର ରେଖାଗୁଡ଼ିକ, $3P \leftarrow mD$, ଯୌଗିକ ତ୍ରିଧାର । ତେବେ ଗୋଟିଏ ରେଖା ଅତ୍ୟନ୍ତ ଦୁର୍ବଳ ହେବା ଉଚିତ । ସବୁଠାରୁ ଅଧିକ ଉଜ୍ଜ୍ୱଳ ଦୁଇଟିରେଖା $3^2P_{\frac{3}{2}} \leftarrow m^2D_{\frac{5}{2}}$ ଓ $3^2P_{\frac{1}{2}} \leftarrow m^2D_{\frac{3}{2}}$ ଟେର୍ମିନାରୁ ଉତ୍ପନ୍ନ ହୋଇଥାଏ । ଯଦି

ସମୀକରଣ (୧୭·୭) ମୋଟାମୋଟି ଭାବରେ ସୋଡ଼ିୟମ ପାଇଁ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହୋଇଥାଏ, ଫଳରେ $l(l+1)$ ଗୁଣକଟି ଥିବାରୁ, $^3D_{\frac{5}{2}} - nD_{\frac{3}{2}}$ର ବ୍ୟବଧାନ $nP_{\frac{3}{2}} - nP_{\frac{1}{2}}$ର ବ୍ୟବଧାନ ପ୍ରତି $1/(2\times3) : 1/(1\times2)$ ବା କେବଳ $1:3$ ଅନୁପାତରେ ହେବ ଏବଂ n ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ D ତାରତମ୍ୟ କ୍ଷିପ୍ରତର ଭାବରେ ଅଦୃଶ୍ୟ କମିଯିବ । ମଳିନ ସିରିଜର ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ସାଧାରଣ ବିଭେଦନକ୍ଷମ ଯନ୍ତ୍ରରେ ପ୍ରକୃତ ଦ୍ୱିଧାର ପରି ମନେ ହେବ । ଏଥିରେ ଅବୃତ୍ତି ତାରତମ୍ୟ ପ୍ରାୟ ଧ୍ରୁବ ହେବ ଓ $3P_{\frac{3}{2}} - 3P_{\frac{1}{2}}$ର ବ୍ୟବଧାନ ସହ ସମାନ ହେବ (ଟେବୁଲ ୧୭·୧) । ଠିକ୍ ଏହିକି ବ୍ୟବଧାନ ଥାଇ ଦ୍ୱିଧାର ସବୁ $3P_{\frac{3}{2}} \leftarrow n_1D_{\frac{3}{2}}$ କଷ୍ଟିଭ ରେଖା ଓ $3_{\frac{1}{2}} \leftarrow n_1D_{\frac{3}{2}}$ ଭଲ୍ୟୁକତର ରେଖା ଦ୍ୱାରା ଗଠିତ ହୋଇଥାଏ ।

ତେଣୁ, ପୃଥମ ସୋଡ଼ିୟମ ପରମାଣୁ ଦ୍ୱାରା ଉତ୍ପନ୍ନ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର ପ୍ରଧାନ ପ୍ରଧାନ ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକର ତତ୍ତ୍ୱ ଅତି ଉତ୍ତମ ଭାବରେ ବୁଝାଇ ପାରିଲୁ । ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ଆଲ୍‌କାଲି ଧାତୁଗୁଡ଼ିକର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ଗୁଣାତ୍ମକ ଭାବରେ ସୋଡିୟମ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ସହ ବହୁ ପରିମାଣରେ ସମାନ; ତେଣୁ ଏହି ତତ୍ତ୍ୱ ଏ ଧାତୁଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ ସମ ପରିମାଣରେ ସଫଳ ହୋଇଥାଏ ।

ଟେବୁଲ ୧୭'୧ *Na*ର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ଦ୍ୱିଧାର ବ୍ୟବଧାନ

ସିରିଜ୍	*n*	*J*	ଆରମ୍ଭ ପଦମୂଲ୍ୟ cm^{-1}	ରେଖା		ବ୍ୟବଧାନ $\Delta\bar{\nu}$, cm^{-1}
				λ, Å	$\bar{\nu}$, cm^{-1}	
ପ୍ରଧାନ $3^2S_{\frac{1}{2}} \leftarrow n^2P_J 3S$ 41,449.65 cm^{-1}	3	$\frac{1}{2}$ $\frac{3}{2}$	24,493.47 24,476.37	5,895.92 5,889.95	16,956.18 16,973.38	17.20
	4	$\frac{1}{2}$ $\frac{3}{2}$	11,182.77 11,177.14	3,303.32 3,302.99	30,266.88 30,272.51	5.63
	5	$\frac{1}{2}$ $\frac{3}{2}$	6,409.38 6,406.86	2,853.03 2,852.83	35,040.27 35,042.79	2.52
	6	$\frac{1}{2}$ $\frac{3}{2}$	4,153.14 4,151.89	2,680.44 2,680.34	37,296.51 37,297.76	1.25
ତୀକ୍ଷ୍ଣ ପଦମୂଳ $3^2P_J \leftarrow n^2S_{\frac{1}{2}}$	4	$\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$	15,709.8	11,381.2 11,403.6	8,783.7 8,766.5	17.2
cm^{-1} $3^2P_{\frac{1}{2}}$ − 24,493.47 $3^2P_{\frac{3}{2}}$ − 24,476.27	5	$\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$	8,249.0	6,154.23 6,160.75	16,244.5 16,227.3	17.2
	6	$\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$	5,077.0	5,148.84 5,153.40	19,416.5 19,399.3	17.2
	7	$\frac{1}{2}$ $\frac{1}{2}$	3,437.6	4,747.94 4,751.82	21,055.9 21,038.7	17.2
ବିସ୍ତୃତ $3^2P_J - n^2D$†	3	$\frac{1}{2}$ $\frac{3}{2}$	12,276.8	8,194.82 8,183.26	12,216.7 12,199.5	17.2
	4	$\frac{1}{2}$ $\frac{3}{2}$	6,900.9	5,682.63 5,688.20	17,592.6 17,575.4	17.2
	5	$\frac{1}{2}$ $\frac{3}{2}$	4,412.9	4,978.54 4,982.81	20,080.6 20,063.4	17.2
	6	$\frac{1}{2}$ $\frac{3}{2}$	3,062.4	4,664.82 4,668.56	21,431.1 21,413.9	17.2

$D_{\frac{5}{2}}$ ଓ $D_{\frac{3}{2}}$ର କେବଳ ହାରାହାରି ମୂଲ୍ୟ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି ଓ କେବଳ ଦୁଇଟି ଉଜ୍ଜ୍ୱଳତମ ରେଖା ।

Z ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଦ୍ୱିଧାର ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ମଧ୍ୟରେ ବ୍ୟବଧାନ ଅତି କ୍ଷିପ୍ର ଗତିରେ ବଢ଼ିଯାଏ । ଟେବୁଲ ୧୭·୨ରେ Dରେଖା ଓ ସେମାନଙ୍କର ଅନୁରୂପ ରେଖାଗୁଡ଼ିକର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ସବୁ ଓ ତରଙ୍ଗସଂଖ୍ୟା ସବୁ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି ଅର୍ଥାତ୍ ସମସ୍ତ ଆଲ୍‌କାଲି ଧାତୁଙ୍କର ପ୍ରଧାନ ସିରିଜ୍‌ର ପ୍ରଥମ ରେଖାସବୁ ଏବଂ ସେହି ରେଖାମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଦ୍ୱିଧାର ବ୍ୟବଧାନସବୁ ମଧ୍ୟ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି ।

ଟେବୁଲ୍ ୧୭·୨ ଆଲ୍‌କାଲି ଧାତୁମାନଙ୍କର ପ୍ରଧାନ ସିରିଜର ପ୍ରଥମ ରେଖାସବୁ

	Li	Na	K	Rb	Cs
Z n	3 2	11 3	19 4	37 5	35 6
$\lambda(^2S_{1/2}\leftarrow{}^2P_{1/2})$, A° $\lambda(^2S_{1/2}\leftarrow{}^2P_{3/2})$, A°	6,707·8	5,895·9 5,890·	7,699·0 7,664·9	7,947·6 7,800·2	8,943·5 8,521·1
$\bar{\nu}$ $(^2S_{1/2}\leftarrow{}^2P_{1/2})$, cm^{-1} $\bar{\nu}$ $(^2S_{1/2}\leftarrow{}^2P_{3/2})$, cm^{-1}	14,904	16.956 16,973	12,985 13,043	12,579 12,817	11,178 11,732
$\Delta\bar{\nu}$, cm^{-1}	0·34	17	58	238	554

ଆଲ୍‌କାଲି ଧାତୁମାନଙ୍କ କ୍ଷେତ୍ରରେ n ବଢ଼ି ବଢ଼ି ଚାଲିଥିଲେ ମଧ୍ୟ Z ସହିତ ଦ୍ୱିଧାର ବ୍ୟବଧାନର ଅତ୍ୟଧିକ ବୃଦ୍ଧି କ୍ଷେତ୍ରାଧୀନ ଥିବା ରେଖାମାନଙ୍କର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟରେ ସାମାନ୍ୟ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହେବା ସହିତ ଅତ୍ୟନ୍ତ ବିରୁଦ୍ଧାଚରଣ କରୁଛି । ନିଉକ୍ଲିୟସ ନିକଟରେ କୈନ୍ଦ୍ରିକ କ୍ଷେତ୍ରର ଗୁଣ ପ୍ରତି ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-କକ୍ଷ ପ୍ରଭାବ ଅତ୍ୟନ୍ତ ଚପଳଭାବେ ନିର୍ଭରଶୀଳ ହୋଇଥିବାରୁ ଏପରି ଘଟିଥାଏ ।

17·4 ହିଲିୟମ୍‌ର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ :

1868 ମସିହାର ପୂର୍ଣ ସୂର୍ଯ୍ୟଗ୍ରହଣ ସମୟରେ ଜାନସେନ୍ ସୌର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ହିଲିୟମ ରେଖା ଚିହ୍ନଟ କରିଥିଲେ । ଲକର ଏହି ପଦାର୍ଥଟି ପାଇଁ ହିଲିୟମ ନାମଟିକୁ ପ୍ରସ୍ତାବ କରିଥିଲେ । (ସୂର୍ଯ୍ୟକୁ ଗ୍ରୀକ୍ ଭାଷାରେ ହେଲିଓ କୁହାଯାଏ) ସୂର୍ଯ୍ୟରୁ ଏହି ରେଖା ଦେଖା ଯିବାର ବହୁବର୍ଷ ପରେ 1895 ମସିହାରେ ରାମସେ ପୃଥିବୀରେ ଏହାକୁ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର କରିଥିଲେ । ହିଲିୟମ୍‌ର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମକୁ ବୁଝିବାର ବହୁକାଳ ପୂର୍ବରୁ, ଚିତ୍ର ୧୭·୪ରେ ଦେଖାଯାଇଥିବା ଶକ୍ତିସ୍ତର ଚିତ୍ର ପରୀକ୍ଷାରୁ ସ୍ଥିର କରି ସରିଥିଲା । ଏଥିରେ ଦୁଇଟି ସେଟ୍‌ର ସ୍ତର ଥିବାରୁ ରହିଥିଲା । ଗୋଟିଏ ସେଟ୍‌ର କୌଣସି ସ୍ତରରୁ ଅନ୍ୟ ସେଟ୍‌ର କୌଣସି ସ୍ତରକୁ ସଂକ୍ରମଣ ଦେଖାଯାଇନଥିଲା । ପ୍ରଥମେ ମନେ କରାଯାଉଥିଲା ଯେ, ହୁଏତ ଦୁଇପ୍ରକାରର ହିଲିୟମ ଥାଇପାରେ, ଅର୍ଥୋହିଲିୟମ ଓ ପାରାହିଲିୟମ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ପଦମଣ୍ଡଳ ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ । ପାରାହିଲିୟମ ପଦଗୁଡ଼ିକ ଏକଧାର ରେଖା ସିଙ୍ଗଲ୍ ସହ ଓ ଅର୍ଥୋହିଲିୟମ ତ୍ରିଧାର ରେଖା ଟ୍ରିପଲ୍ ସହ ସଂପୃକ୍ତ । ଯେତେବେଳେ ଏହି ଦୁଇ ହିଲିୟମ୍‌କୁ ଅଲଗା ଅଲଗା କରିବାର ସମସ୍ତ ଚେଷ୍ଟା ବିଫଳ ହେଲା । ପଦଗୁଡ଼ିକର ଦୁଇମଣ୍ଡଳ କାର୍ଯ୍ୟତଃ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଭିନ୍ନ ଭାବରେ ବୁଝାଗଲେ ଅର୍ଥାତ୍ ଗୋଟିଏ ଅର୍ଥୋହିଲିୟମ୍ ପରମାଣୁର ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସମାନ୍ତର ଏବଂ ଗୋଟିଏ ପାରାହିଲିୟମ ପରମାଣୁର ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଅସମାନ୍ତର (ଦେଖ ଅନୁ: ୧୫କ·୬) ।

ଦୁଇ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ ପରିଣାମୀ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କୌଣିକ ସଂବେଗ $\sqrt{S(S+1)}\hbar$ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୁଏ, ଏଠାରେ $S = s_1 \oplus s_2 = \frac{1}{2} \oplus \frac{1}{2}$ (୧୭·୭)

ଏହାର ସମ୍ଭାବ୍ୟ ମୂଲ୍ୟ ହେଲା 1 ବା 0 । ଏଠାରେ $\oplus$ ଅନୁ: ୧୪·୮ରେ ଦିଆଥିବା କ୍ୱାଣ୍ଟମିକୃତ ଭେକ୍ଟର 'ଯୋଗଫଳ ବୁଝାଉଛି । ଅର୍ଥୋହିଲିୟମ ପାଇଁ $S=1$; ପାରାହିଲିୟମ ପାଇଁ $S=0$ ।

ଅର୍ଥୋହିଲିୟମର ତ୍ରିଧାର ପଦଗୁଡ଼ିକର ଗୋଟିଏ ପ୍ରଧାନ ଗୁଣ ହେଲା, ଏକକ ମଣ୍ଡଳର ଅନୁରୂପ କୌଣସି ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥା ନାହିଁ । ପାଉଲି ଅପବର୍ଜନ ନିୟମ ଅନୁସାରେ $n=1$, $l=0$, $m_l=0$ ଅବସ୍ଥାରେ ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଏକା m_s ମୂଲ୍ୟ ହୋଇନପାରେ ।

ଏକଧାର | ତ୍ରିଧାର

$^1F_3$ $^1D_2$ $^1P_1$ $^1S_0$ | $^3S_1$ $^3P_{0,1,2}$ $^3D_{1,2,3}$ $^3F_{2,3,4}$

0

4f 4d 5p 4p 3d 3p 2p 6s 5s 4s 3s 2s 5 4 3 2

18,673 6678 7281 584.4 Å

5s 5p 4s 4p 4d 4f 3p 3d 7065 5876 2p 10,830 2s

50,000

100,000

150,000

200,000

$\bar{\nu}$ cm^{-1}

ଆୟନନ ଶକ୍ତି −24.58 eV

n = 1 ହାଇଡ୍ରୋଜେନ୍

ପାରାହିଲିୟମ S = 0

ଅର୍ଥୋହିଲିୟମ S = 1

$1s^2$

20 15 eV 10 5 0

[ଚିତ୍ର ୧୭.୪ ହିଲିୟମ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ପାଇଁ ପଦଚିତ୍ର— ଏଥିରେ ପଦଗୁଡ଼ିକ ଦୁଇମେଳ ରହୁଥିବା ଏକଧାର ଓ ତ୍ରିଧାର ପଦମାନଙ୍କରେ ସଜାଯିବା ଦେଖାଯାଉଅଛି]

ତେଣୁ କେବଳ ପାର ହାଇଡ୍ରୋଜେନ୍ ପାଇଁ ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ $1s^2$ର ଦୁଇଟି ଆକାର ହୋଇପାରିବ; ଅର୍ଥୋହାଇଡ୍ରୋଜେନ୍ ପାଇଁ ସର୍ବନିମ୍ନ ଅବସ୍ଥାନ ହେଲା $1s2s$ ।

ପାରାହିଲିୟମ ପାଇଁ $S = 0$, ତେଣୁ $j = L \oplus S = L$ । Lର ପ୍ରତିମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ Jର ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ମୂଲ୍ୟ ଥିବାରୁ, ଶକ୍ତିସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ଏକଧାର ବିଶିଷ୍ଟ—ଏଥିରେ ଗୋଟିଏ ସୂକ୍ଷ୍ମଗଠନ ନାହିଁ । ଏଗୁଡ଼ିକର ନାମ $^1S_0$, $^1P_1$, $^1D_2$ ପ୍ରଭୃତି । ଅର୍ଥୋହିଲିୟମ ପାଇଁ $S = 1$, ତେଣୁ $J = L \oplus S$ର ମୂଲ୍ୟସବୁ ହେଲା $L+1$, L, $L-1$ (କିନ୍ତୁ ଯେବେ ହେଲେ ବିଯୁକ୍ତ ମୂଲ୍ୟ ହେବନାହିଁ) । ସେଥିପାଇଁ $L = 0$ ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ବ୍ୟତୀତ, ପ୍ରତି nl ଅବସ୍ଥାର ତିନୋଟି ସୂକ୍ଷ୍ମଗଠନ ସ୍ତର ରହିଅଛି । ଅର୍ଥୋହିଲିୟମର ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ତ୍ରିଧାର ବିଶିଷ୍ଟ । ଏଗୁଡ଼ିକ ସଙ୍କେତରେ $^3S_1$, $^3P_1$, $^3P_2$, $^3D_1$ ଇତ୍ୟାଦି ।

17·5 ବହୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ତରଙ୍ଗତତ୍ତ୍ୱ

ଯେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁର ପୂର୍ଣ୍ଣ ସ୍ୱଳ୍ପକୋଷଗୁଡ଼ିକର ବାହାରେ ଦୁଇଟି ବା ତତୋଧିକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଥାଏ, ସାଧାରଣ-ଭାବରେ ଏକଥା ସତ୍ୟ ଯେ ବିକିରଣକାରୀ ସଂକ୍ରମଣମାନଙ୍କରେ କେବଳ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସକ୍ରିୟ ହୋଇଥାଏ; କିନ୍ତୁ ଯେଉଁ ପାରମାଣବିକ ଶକ୍ତିସ୍ତରମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସଂକ୍ରମଣ ଘଟିଥାଏ, ସେଗୁଡ଼ିକ ଅନ୍ୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ-ମାନଙ୍କର ଉପସ୍ଥିତି ଫଳରେ ପ୍ରଭାବିତ ହୋଇଥାଏ । ଏହିପରି ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକର ଆଲୋଚନାର ମୂଳକଥା ହିସାବରେ ଗୋଟିଏ ସୁଷମ ପରମାଣୁ ପାଇଁ ତରଙ୍ଗଫଳନ ହିସାବ କରିବାରେ ଦରକାର ହେଉଥିବା ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ହାମିଲ୍ଟୋନୀୟ ଫଳନରେ ଦେଖାଯାଉଥିବା ବିଭିନ୍ନ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଆମେ ସଂକ୍ଷେପରେ ବର୍ଣ୍ଣନା କରିବୁ । ଯଦିଓ ଗୋଟିଏ ବହୁଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପରମାଣୁ ପାଇଁ ସଠିକ ଆପେକ୍ଷିକ ତରଙ୍ଗ ସମୀକରଣ ଜଣାନାହିଁ, ଗୋଟିଏ ଆସନ୍ନ ସମୀକରଣ ଲେଖାଯାଇ ପାରିବ, ଏଥିରେ ନିମ୍ନପଦଗୁଡ଼ିକ ଦେଖାଯିବ ।

୧ । ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକର ଗତିଜ ଶକ୍ତି ପ୍ରକାଶ କରୁଥିବା ପଦସବୁ; jତମ ଇଲେକଟ୍ରନ ପାଇଁ ଏହାର ଆକାର ହେବ $-\left(\frac{\hbar^2}{2m}\right)\vec{\nabla}_j^2$ ।

୨ । ପ୍ରତି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ନିଉକ୍ଲିୟସ ସହିତ ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଘଟାଇବାଦ୍ୱାରା ମିଳୁଥିବା ସ୍ଥିତିଜଶକ୍ତି ପଦସବୁ ।

୩ । ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ପରସ୍ପର ସହିତ ଘଟୁଥିବା ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାଗୁଡ଼ି ମିଳୁଥିବା ସ୍ଥିତିଜ-ଶକ୍ତି ପଦସବୁ ।

୪ । $l>0$ ହୋଇଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ସମୀକରଣ (୧୪·୨୩)ରେ ଦତ୍ତ ଥିବା ଆକାରରେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-କକ୍ଷ ପଦସବୁ ।

୫ । ପ୍ରତି ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ଓ ଅନ୍ୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର କକ୍ଷୀୟ ଗତି ମଧ୍ୟରେ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ସୃଷ୍ଟିହୋଇଥିବା ମିଳିତ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-କକ୍ଷ ପଦସବୁ ।

୬ । ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଚୁମ୍ବକୀୟ ସଂବେଗମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ।

୭ । ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର "କକ୍ଷୀୟ" ଗତି ଫଳରେ ଘଟୁଥିବା ଚୁମ୍ବକୀୟ ସଂବେଗମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ।

୮ । ଆପେକ୍ଷିକ ସଂଶୋଧନସବୁ, ବର୍ତ୍ତମାନ ଏହା ଆଂଶିକ ଭାବରେ ଜଣାଅଛି ।

୯ । ନିଉକ୍ଲିୟସର ଗତି ଫଳରେ ହେଉଥିବା ପଦସବୁ — ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ଓ ନିଉକ୍ଲିୟସର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ମଧ୍ୟରେ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାପାଇଁ, ନିଉକ୍ଲିୟସର ଚତୁଃମେରୁ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣଗୁଡ଼ିକ ସଙ୍ଗେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଇତ୍ୟାଦି ।

ଭାଗ୍ୟବଶତଃ, ପ୍ରଥମ ଚାରୋଟି ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ତୁଳନାରେ 5ରୁ 9 ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଶ୍ରେଣୀର ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ସାଧାରଣତଃ କମ୍ । ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତିରେ ସବୁଠାରୁ ବଡ଼ ଅବଦାନ ହେଲା ନିଉକ୍ଲିୟସର ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାଗୁଡ଼ି (2ୟ ଶ୍ରେଣୀ) ଓ ତାପରକୁ 3ୟ ଶ୍ରେଣୀ । ଶେଷୋକ୍ତଟି ଦୁଇଭାଗରେ ବିଭକ୍ତ ହୋଇପାରେ — ଗୋଟିଏ ଗୋଲକାକାରରେ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟୀ ଓ ଅନ୍ୟଟି ଅଣଗୋଲକାକାରରେ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟୀ । ପ୍ରଥମ ଭାଗଟିକୁ ଆବରଣ ଧ୍ରୁବରେ ଆମେ ହିସାବକୁ ନେଇଅଛୁ, ଏହା ଫଳରେ ନିଉକ୍ଲିୟସର ଚାର୍ଜ ପରିମାଣ Zରୁ Z_{eff}କୁ କମିଯାଇଅଛି । ଦ୍ୱିତୀୟଭାଗଟି ପୂର୍ଣ୍ଣ ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଣର ବାହାର

ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ଲାଗି ହୋଇଥାଏ ଓ ଏପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଏହା ବୁଝିହେଉ ନାହିଁ । ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଭାବରେ, ଲଘୁ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କ ଲାଗି ଅଣଗୋଲାକାର ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ରର ପ୍ରଭାବ ଅବଶିଷ୍ଟ ପଦମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସବୁଠାରୁ ବଡ଼, କିନ୍ତୁ ଗୁରୁ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-କକ୍ଷ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ସବୁଠାରୁ ବଡ଼ । ତତ୍ତ୍ୱ ଗଢ଼ିବାବେଳେ ଏହା ସର୍ବାଧିକ ପଦକୁ ପ୍ରଥମେ ବିଚାର କରାଯାଏ ଓ ତାପରେ ଛୋଟ ପଦଗୁଡ଼ିକୁ ଅବେକ୍ଷଣ ଭାବରେ ବିଚାର କରାଯାଏ । ଯେଉଁ ଅବସ୍ଥାରେ ଅବଶିଷ୍ଟ ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ପ୍ରାଧାନ୍ୟ ଲାଭ କରେ, ପ୍ରଥମେ ଆମେ ତାହା ବିଚାର କରିବା (LS ଯୋଡ଼) ଏବଂ ପରେ ଯେଉଁଥିରେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-କକ୍ଷ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ପ୍ରାଧାନ୍ୟ ଲାଭ କରେ ତାହା ବିଚାର କରିବା (jj ଯୋଡ଼) ।

(କ) ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ଅବସ୍ଥାନ ଓ ଯୋଡ଼ ଯୋଜନା

ଗୋଟିଏ ପରିବର୍ତ୍ତିତ କେନ୍ଦ୍ରୀୟ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ସମ୍ଭାବ୍ୟ ଅବସ୍ଥା ସବୁ କ୍ୱାଣ୍ଟମସଂଖ୍ୟା n ଓ l ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ, କାରଣ ସବୁ Z ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଙ୍କ ପାଇଁ n ଓ l ମୂଲ୍ୟଗୁଡ଼ିକ ସ୍ଥିର କରିଦେଲେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ଅବସ୍ଥାନ ସ୍ଥିରୀକୃତ ହୋଇଯାଏ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ଗୋଟିଏ $1s^2\ 2s^2\ 2p\ 3d$ ଅବସ୍ଥାନରେ ଗୋଟିଏ C^6 ପରମାଣୁର $1s^2$ ଅଭ୍ୟନ୍ତର, ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ $2s$ ଅବସ୍ଥାରେ, ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗୋଟିଏ $2p$ ଅବସ୍ଥାରେ ଓ ଆଉ ଗୋଟିଏ $3d$ ଅବସ୍ଥାରେ ରହିଅଛି । ଏହି ଅବସ୍ଥାନରେ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ଶକ୍ତି ଅବସ୍ଥା (ବା ଶକ୍ତି ସ୍ତର) ସମ୍ଭବ, ପ୍ରତ୍ୟେକ ନିଜସ୍ୱ ମୋଟ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ରହିଅଛି । ଅନେକ ସମୟରେ ପଦ ବା ପଦମୂଲ୍ୟ ଶବ୍ଦଗୁଡ଼ିକ ସ୍ତରର ଶବ୍ଦ ବଦଳରେ ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇଥାଏ, ଉଚ୍ଚତର ଓ ନିମ୍ନଙ୍କ ଅମଳରୁ ଏହା ରହିଛି (ଅନୁ: ୯·୭) । ଆଲୋକ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ପାଇଁ, ପୂର୍ଣ୍ଣ ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଣମାନଙ୍କ ବାହାରେ ଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସଂକ୍ରମଣ ହୋଇଥାଏ ।

ଅବସ୍ଥାନର ପରିବର୍ତ୍ତନ ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ମୁଖ୍ୟ ବର୍ଜ୍ଜ ନିୟମ ରହିଅଛି । ସାଧାରଣ ଭାବରେ, n, l ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ଠିକ୍ ଗୋଟିକରେ ତାରତମ୍ୟ ହେଲେ ବିକିରଣକାରୀ ସଂକ୍ରମଣ ହୋଇଥାଏ; ଅଲ୍ପ ମଧ୍ୟ, ଆରମ୍ଭ ଓ ଶେଷ ଅବସ୍ଥାରେ lର

ମୂଲ୍ୟରେ ଏକ ବ୍ୟବଧାନ ନିଷ୍ପନ୍ନ ହେବ । ତେଣୁ ଗୋଟିଏ $2s\,3p$ ଅବସ୍ଥାନ ଓ ଗୋଟିଏ $2s\,3d$ ଅବସ୍ଥାନ ମଧ୍ୟରେ ସଂକ୍ରମଣ ହୋଇପାରେ; କିନ୍ତୁ ଗୋଟିଏ $2s\,3p$ ଅବସ୍ଥା ଓ ଗୋଟିଏ $2p\,3d$ ଅବସ୍ଥା ମଧ୍ୟରେ ହୋଇ ପାରିବନାହିଁ କାରଣ ଦୁଇଟିଯାକ l ଭିନ୍ନ, ଗୋଟିଏ $2s\,3p$ ଅବସ୍ଥା ଓ ଗୋଟିଏ $2s\,4f$ ଅବସ୍ଥା ମଧ୍ୟରେ ସଂକ୍ରମଣ ହେବନାହିଁ କାରଣ $\Delta l = 2$ । ଷ୍ପେକ୍ଟ୍ରୋସ୍କୋପୀରେ ଯେତେଗୁଡ଼ିଏ ସଂକ୍ରମଣ ଲକ୍ଷ୍ୟ କରାଯାଇଛି, ବଛା ନିୟମ $\Delta l = \pm 1$ ତାହା ବହୁ ପରିମାଣରେ ଜମାଇ ଦେଉଛି ।*

17·6 LS ବା ରସେଲ୍-ସଣ୍ଡର୍ସ ଯୋଡ଼ :

ଯେଉଁ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ଅଧିକ ଗୁରୁ ନୁହେଁ, ସେଥିରେ ଅବଶିଷ୍ଟ ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାର ଅପେକ୍ଷାକୃତ ଅଧିକ ପ୍ରଭାବ ରହେ । ଆଲୋଚନାର ସୁବିଧା ଦୃଷ୍ଟିରୁ ବର୍ତ୍ତମାନ ପାଇଁ ଆମେ ଧରି ନେବା ଯେ, ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-କକ୍ଷ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଆରମ୍ଭରୁ ଅବହେଳା କରାଯାଇପାରେ । ପୂର୍ଣ୍ଣ ଉପକୋଷଗୁଡ଼ିକର ବାହାରେ ଦୁଇଟି ବା ଅଧିକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ କଥା ବିଚାର କରିବା । ଅବଶିଷ୍ଟ ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ ବିକର୍ଷଣ ଫଳରେ (ଏହା ଦଳରେ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଆଡ଼କୁ ବା ସେଠାରୁ ବାହାର ଆଡ଼କୁ ହୁଏନାହିଁ) ଏହି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ-ଗୁଡ଼ିକର ଗୋଟି ଗୋଟି ହୋଇ କକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗ ଆଉ ଧ୍ରୁବ ହୋଇ ରହିବ ନାହିଁ; କିନ୍ତୁ ସେଗୁଡ଼ିକର ପରିଣାମ ଏହି ବଳମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରଭାବିତ ହେବନାହିଁ । ଏହି ପରିଣାମୀ କୌଣିକ ସଂବେଗ $\vec{A}_L$ର ପରିମାଣ ହେଲା $\sqrt{L(L+1)}\hbar$,

ଏଠାରେ $L = l_1 \oplus l_2 \oplus l_3 \oplus$ (୧୭·୮କ)

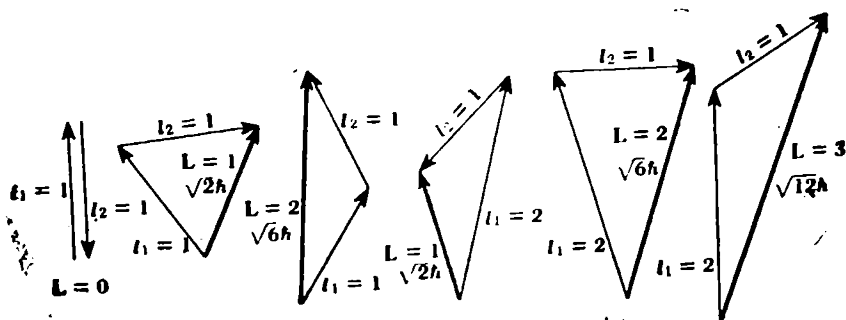
---

* ତରଙ୍ଗଫଳନ ଯେପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଗୋଟିଏ ଏକ ଅବସ୍ଥାନର ଅନୁରୂପୀ ହୁଏ, ଏ ନିୟମ ଅଭ୍ରାନ୍ତଭାବରେ ସେପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହେବ । କେତେକକ୍ଷେତ୍ରରେ ଅନ୍ୟ ଅବସ୍ଥାନର ରାଶିସବୁ ବହୁ ପରିମାଣରେ ψ ମଧ୍ୟରେ ରହିଥାଏ –ଏଥିପାଇଁ ଯୋଗଫଳ $l_1 \oplus l_2 \oplus \cdots \oplus l_n$ରେ ଗୋଟିଏ ଯୁଗ୍ମସଂଖ୍ୟା ପ୍ରଭେଦ ହୁଏ । ଏକ୍ଷେତ୍ରରେ ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଉଭୟାଁ ଲବ୍ଧ ସଂକ୍ରମଣ ହୋଇପାରେ, ଏଥିରେ ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନସ୍ଥ l ବଦଳିଥାଏ, ଦ୍ୱିଗୁଣିତ ପାଇଁ $\Delta l = 2$ ହୁଏ ।

ଏଠାରେ ⊕ ଅର୍ଥ କ୍ୱାଣ୍ଟଲବ୍ଧ ଭେକ୍ଟର ଯୋଗଫଳ (ଚିତ୍ର ୧୭·୫), ଏଥିରେ $l_1=2$ ଓ $l_2=3$, $L=l_1\oplus l_2=5$, 4, 3, 2 ବା 1 । ଯଦି $l_3=$ $L=l_1\oplus l_2\oplus l_3=6, 5, 4, 3, 2$, ବା 0 । (ବିଜାଣୀ) କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ମଧ୍ୟ ଜଣାଯାଇପାରେ, ଏଥିରେ $\vec{A}_L$ର ଯେ କୌଣସି ଅକ୍ଷରେ ସଂଯୋଜନ ହେବ $M_L\hbar$. ଏଠାରେ M_Lର $2L+1$ ବିଭିନ୍ନ ମୂଲ୍ୟ $-L$ରୁ L ମଧ୍ୟରେ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ବ୍ୟବଧାନରେ ରହିଥାଏ । ତେଣୁ $\vec{A}_L$ର କୌଣସି ଦିଗରେ ସର୍ବାଧିକ ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ମୂଲ୍ୟ ହେବ $L\hbar$ ।

କକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗ $\sqrt{l(l+1)}\hbar$ ପରି ପ୍ରତ୍ୟେକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କୌଣିକ ସଂବେଗ $\sqrt{(\frac{1}{2})(\frac{3}{2})}\hbar$ । ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ଘୂର୍ଣ୍ଣନମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଅତ୍ୟଧିକ କ୍ୱାଣ୍ଟମ-ଯାନ୍ତ୍ରିକ ବନ୍ଧନସ୍ଥ ସମ୍ବନ୍ଧ ଫଳରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନଗୁଡ଼ିକ ପରସ୍ପର ସହିତ ସମାନ୍ତର ଭାବରେ ରହିବାର ପ୍ରବୃତ୍ତି ସୃଷ୍ଟି ହୁଏ ଏବଂ ସମାନ୍ତରଭାବେ ରହିଥିବା ଘୂର୍ଣ୍ଣନବିଶିଷ୍ଟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଦୁଇଟି ପରସ୍ପରଠାରୁ ଦୂରେଇ ଯିବାର ପ୍ରବୃତ୍ତି ହୁଏ । ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କୌଣିକ ସଂବେଗମାନଙ୍କର ପରିଣାମ $\vec{A}_s$ର ପରିମାଣ ହେବ $\sqrt{S(S+1)}\hbar$, ଏଠାରେ

$$S=S_1\oplus S_2\oplus S_3\oplus\cdots$$
$$=\tfrac{1}{2}\oplus\tfrac{1}{2}\oplus\tfrac{1}{2}\oplus \qquad (୧୭·୮ କ)$$



[ଚିତ୍ର ୧୭·୫ $l_1=1$, $l_2=1$ ହେଲେ କପର $l_1\oplus l_2$. $L=0$, 1 ବା 2 ହୁଏ ଓ $l_1=2$, $l_2=1$ ହେଲେ କପରେ $L=1$, 2 ବା 3 ହୁଏ, ତା'ର ଚିତ୍ରଣ]


A_Sର Z ଦିଗରେ ସଂଯୋଜକର ଗୋଟିଏ ମୂଲ୍ୟ $M_S\hbar$, ଏଠାରେ M_S ହେଲା Sରୁ $-S$ ମଧ୍ୟରେ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ବ୍ୟବଧାନରେ କୌଣସି ଏକ ସଂଖ୍ୟା । ଅକ୍ଷୀୟ ସଂଯୋଜକକୁ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଅତି ବେଶୀ $\hbar/2$ ଅବଦାନ ଦେଇ ପାରୁଥିବାରୁ M_sର ସର୍ବାଧିକ ମୂଲ୍ୟ ଓ ସେହି କାରଣରୁ Sର ମୂଲ୍ୟ $N/2$ ହେବ ଯଦି ପୂର୍ଣ୍ଣ ଥିବା ଉପକୋଷମାନଙ୍କ ବାହାରେ N ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଥାଏ । ତେଣୁ S ଓ M_S ଦୁହେଁ ପୂର୍ଣ୍ଣ ସଂଖ୍ୟା ବା ଶୂନ୍ୟ ବା ଅର୍ଦ୍ଧପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ହେବ ଯଦି N ଯଥାକ୍ରମେ ଯୁଗ୍ମ ବା ଅଯୁଗ୍ମ ହୁଏ ।

କେତେକ ଅବସ୍ଥାନରେ, ଏକା L ଓ S ମୂଲ୍ୟ ଥାଇ LS କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କର ଦୁଇ ବା ତତୋଧିକ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ସେଟ୍ ମିଳିଥାଏ ।

ଶୂନ୍ୟ କୋଟୀର L, S, M_L, M_S ତରଙ୍ଗଫଳନ ସବୁ ସହଜରେ n, l, m_l, m_s ଫଳନମାନଙ୍କର ସରଳ ରୈଖିକ ସମାବେଶ ଫଳରେ ସହଜରେ ଗଢ଼ାଯାଇପାରେ । L, S, M_L, M_S କ୍ୱାଣ୍ଟମ-ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ସାଧାରଣତଃ m_l ଓ m_sର ଗୋଟିଗୋଟି ମୂଲ୍ୟର ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ମୂଲ୍ୟମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ସୂଚିତ ହୁଏନାହିଁ; ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗମାନଙ୍କର ଅକ୍ଷୀୟ ସଂଯୋଜକଗୁଡ଼ିକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ନୁହେଁ (କେବଳ କେତେକ ଘଟଣା ଛାଡ଼ିଦେଲେ) ।  ପୁରାତନ ଯାନ୍ତ୍ରିକର ଧାରଣା ଯେ A_L ଓ A_S ଭେକ୍ଟରର ଯୋଗଫଳ ମିଳିଗଲେ, ସେଥିରୁ  A_1 ଓ A_2 ଭେକ୍ଟର ସଂବେଗ ଦୁଇଟିକୁ ଗୋଟି ଗୋଟି କରି ସ୍ଥିର କରି ହେବନାହିଁ । ବର୍ତ୍ତମାନର ଧାରଣା ତା'ର ଅନୁରୂପ । କୌଣସି ଗୋଟିଏ A_1ର ପରିମାଣ ଉପରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ବିକର୍ଷଣର ହାରାହାରି ପ୍ରଭାବ ସାଧାରଣତଃ ପ୍ରାପ୍ତ ନଥାଏ; କେବଳ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟିର କକ୍ଷୀୟ ଗତିବେଳେ ଏହା ତା'ର ଗତିକୁ ବଢ଼ାଇଦିଏ ଓ ପୁଣି କମାଇଦିଏ । ଅନ୍ୟ ପକ୍ଷରେ, ତା'ର କକ୍ଷୀୟ ସମତଳକୁ ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ଥିବା ଏହି ବିକର୍ଷଣର ସଂଯୋଜକ ଗୋଟିଏ A_1 ଭେକ୍ଟରକୁ ସେମାନଙ୍କର ପରିଣାମ  A_L ଭେକ୍ଟରର ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଦିଗର ଚାରିପଟେ କେନ୍ଦ୍ରାୟମାନ ହେବ, ଠିକ୍ ଯେପରି ଗୋଟିଏ ଗାଇରୋସ୍କୋପ୍‌ରେ ଗୋଟିଏ ଟର୍କ କାର୍ଯ୍ୟ କଲେ ଘଟିଥାଏ । ଏହିପରି କେନ୍ଦ୍ରେଇବା ଗତିରୁ ଜଣାଯାଉଛି ଯେ, m_l ଓ m_sଗୁଡ଼ିକୁ କ୍ୱାଣ୍ଟିକରଣ କରିବା ଅନାବଶ୍ୟକ, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ବିକର୍ଷଣର ପୂରା

ବର୍ଣ୍ଣନା କରିବାପାଇଁ କେବଳ ପରିଣାମୀ ସଂବେଗକୁ କ୍ୱାଣ୍ଟିକୃତ କଲେ ଯଥେଷ୍ଟ ହେବ । ତେବେ, କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକର ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକ ବର୍ଣ୍ଣନାରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକର ଗତିର କୌଣସି ଅନୁରୂପ ଧାରଣା ନାହିଁ ।

L ଓ S ପାଇଁ ସରଳ ବର୍ଜ୍ଯ ନିୟମ କାମ କରିଥାଏ; ଏହା କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟାଗୁଡ଼ିକର ସର୍ବପ୍ରଧାନ ଗୁଣ । ସେ ନିୟମଗୁଡ଼ିକ ହେଲା,

$$\Delta L = 0 \text{ ବା } \pm 1 \text{ (ଓ } 0 \rightarrow 0 \text{ ନୁହେ)} \qquad (୧୭.୯କ)$$

$$\Delta S = 0 \qquad (୧୭.୯ଖ)$$

$\Delta S = 0$, ଏହି ସର୍ତ୍ତଟି ପୁରାତନ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀର ଗୋଟିଏ ଘଟଣାଟିର ଅନୁରୂପ । ସେ ଘଟଣାଟି ହେଲା, ଘୂର୍ଣ୍ଣନର ସ୍ଥିତ ଓ ତତ୍ସଂଲଗ୍ନ ଚୁମ୍ବକୀୟ ପ୍ରଭାବର ବିକିରଣ ଉପରେ କୌଣସି ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ (ବିଧାୟକଳା) ପ୍ରଭାବ ନାହିଁ । ଏହି ବର୍ଜ୍ଯ ନିୟମ ଫଳରେ, ସମସ୍ତ ପ୍ରକାର ଘୂର୍ଣ୍ଣନକକ୍ଷ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ନଥାଇ, ପାରମାଣବିକ ଶକ୍ତିସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ପରସ୍ପରଠାରୁ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର କେତେକ ମୂଳଶ୍ରେଣୀରେ ବିଭକ୍ତ ହେବ । ଏଥିରୁ ପ୍ରତ୍ୟେକଟି S ର ଭିନ୍ନ ମୂଲ୍ୟ ଦ୍ୱାରା ଅନ୍ୟମାନଙ୍କଠାରୁ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ହୋଇଯିବ; ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର ରେଖାଗୁଡ଼ିକର ଶୋଷଣ ବା ନିଷ୍କାସନ ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ଶ୍ରେଣୀର ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ କେବଳ ସେହି ଶ୍ରେଣୀର ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ସହ ଯୋଡ଼ାଯାଇପାରିବ । ହିଲିୟମ ପାଇଁ ଆମେ ଏହା ଦେଖିଥାଉଁ । ତେବେ, L ପାଇଁ ବର୍ଜ୍ଯ ନିୟମ କେବଳ ଦ୍ୱିମେରୁ ବିକିରଣର ନିଷ୍କାସନ ପାଇଁ ଲାଗିବ । ଏହି ନିୟମର ଉଲ୍ଲଙ୍ଘନ କରୁଥିବା ଦୁର୍ବଳ ରେଖାସବୁ ଅନେକ ସମୟରେ ଦେଖାଯାଏ, ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, λ342> (ଚିତ୍ର ୧୭.୬) ।

ବର୍ତ୍ତମାନ ବୁଝାଯାଇଥିବା ବର୍ଜ୍ଯ ନିୟମକୁ ମାନିବା L ଓ S କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟାଦ୍ୱାରା ପରିଚିତ ପାରମାଣବିକ ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କର ସ୍ଥିତିକୁ LS ବା ରସେଲ-ସଣ୍ଡରସ୍ ଯୋଡ଼ କୁହାଯାଏ । (ଏହା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ସଂବେଗମାନଙ୍କର ଯୋଡ଼) ।

LS ପଦରାଜି: ଶୂନ୍ୟକୋଟୀରେ, କେବଳ ଗୋଟିଏ ଏକକ ଶକ୍ତିସ୍ତର $3p4d$ ପର ଗୋଟିଏ ଅବସ୍ଥାନର ଅନ୍ତର୍ଗତ । ଅବଶିଷ୍ଟ ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା

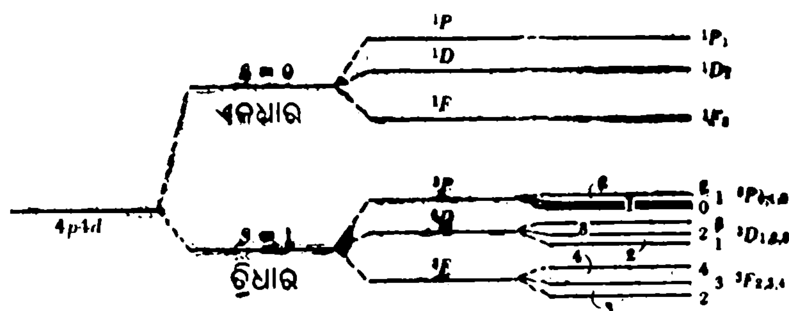
ଏହି ଏକକ ସ୍ତରଟିକୁ ବହୁ ସ୍ତରରେ ଭାଙ୍ଗିଦିଏ । L ଓ Sର ବିଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ମୂଲ୍ୟର ଏହା ଅନ୍ତର୍ଗତ । ଏହି ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଯେ ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକୁ ବିଭିନ୍ନ l ଥିଲେ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର କରି ଦେବ, ତାହା ସୁସ୍ପଷ୍ଟ । ପୂର୍ବୋକ୍ତ ଚିତ୍ରରେ, lର ବିଭିନ୍ନ ମୂଲ୍ୟ ବିଭିନ୍ନ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ କକ୍ଷ ସୃଷ୍ଟିକରିଥାଏ ଓ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ବିକର୍ଷଣୋତ୍ପନ୍ନ ଚୁମ୍ବକଶକ୍ତି ସେହିକାରଣରୁ ବିଭିନ୍ନ ହେବ । ତେବେ ଏହା ଆଶ୍ଚର୍ଯ୍ୟଜନକ ମନେ ହେବ ଯେ, ଯେଉଁ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ କେବଳ Sର ଅଲଗା ଏହିପରି ସ୍ୱଭାବେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ବିକର୍ଷଣ ଫଳରେ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ହୋଇଯିବେ । ଏହାର କାରଣ ହେଲା, lର ବିଭିନ୍ନ ମୂଲ୍ୟ ସଙ୍ଗେ ସମ୍ପୃକ୍ତ ତରଙ୍ଗଫଳନ ସବୁ ସ୍ଥାନରେ ବିଭିନ୍ନଭାବରେ ସମନ୍ତ୍ରଣୀ । ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଚୁମ୍ବକମାନଙ୍କର ପାରସ୍ପରିକ ଶକ୍ତି ସହିତ ଏହି ବ୍ୟବଧାନର ବିଶେଷ ସମ୍ପର୍କ ନାହିଁ; ଯଦି ଅନ୍ୟ କାରଣଗୁଡ଼ିକ ସକ୍ରିୟ ନହୋଇଥାନ୍ତି, ତେବେ ଅବଶ୍ୟ ଏହାଦ୍ୱାରା ସାମାନ୍ୟ ବ୍ୟବଧାନ ହେବ । ଗଣିତରେ, ବିଭିନ୍ନ S ଥିବା ସ୍ତରମାନଙ୍କର ଭାଙ୍ଗିଯିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ପାରସ୍ପରିକ ଶକ୍ତିର ବିନିମୟ ସମାକଳରୁ ଜାତ ହୋଇଥାଏ । ଏହି ସମାକଳଗୁଡ଼ିକର କୌଣସି ଅନୁରୂପ ପୁରାତନ ଯାନ୍ତ୍ରିକରେ ନାହିଁ । ଏହିପରି ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକ ଏକ ବିଶିଷ୍ଟତା ସୃଷ୍ଟି କରିଛି, ଯାହାର ଅନୁରୂପ ପୁରାତନ ତତ୍ତ୍ୱରେ ନାହିଁ ।

17·7 LS ସ୍ତରମାନଙ୍କର ବହୁଧାରଣା :

ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ରେଖାମାନଙ୍କର ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ସୂକ୍ଷ୍ମଗଠନ ବୁଝାଇବାପାଇଁ ଘୂର୍ଣ୍ଣନକକ୍ଷ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାକୁ ଏକ ଦ୍ୱିତୀୟକୋଟିର ଆଲୋଡ଼ନ ଶକ୍ତି ଭାବରେ ନିଆଯାଇପାରେ । (ଲଘୁ ପରମାଣୁମାନଙ୍କରେ) ଅବଶିଷ୍ଟ ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ ଶକ୍ତି ତୁଳନାରେ ଏହା ବହୁତ କମ୍ । ଘୂର୍ଣ୍ଣନକକ୍ଷ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା କକ୍ଷୀୟ ଓ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ, ଉଭୟ ସଂବେଗକୁ ବାଧା ଦେଇଥାଏ, କିନ୍ତୁ କୌଣିକ ସଂବେଗମାନଙ୍କର ଉତ୍ତମ ଭେକ୍ଟର ଯୋଗଫଳକୁ ବାଧା ଦିଏନାହିଁ । ପୁରାତନ ଯାନ୍ତ୍ରିକରେ, $\vec{A}_L$ ଓ $\vec{A}_S$ ଭେକ୍ଟରଗୁଡ଼ିକ, ପ୍ରକୃତରେ ସମାନ୍ତର ନହେଲେ ସେମାନଙ୍କର ପରିଣାମ $\vec{A}_j$ ଚାରିପଟେ ଅବିରାମ ଭାବରେ କେନ୍ଦ୍ରାୟମାନ ହେଉଥିବ । $\vec{A}_j$ ପରିମାଣ $\sqrt{j(j+1)}\hbar$ । ଏଠାରେ

$$j = L \oplus S$$

ତେଣୁ ଗୋଟିଏ ଦତ୍ତ LS ପଦରେ ଥିବା Jର ସମ୍ଭାବ୍ୟ ମୂଲ୍ୟସବୁ ଅସମୀକରଣ $|L - S| \leq J \leq L + S$କୁ ସନ୍ତୁଷ୍ଟ କରୁଥିବା ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ବ୍ୟବଧାନରେ ଥିବା ମୂଲ୍ୟ । ସବୁବେଳେ ହେବାପରି ଏଠାରେ ମଧ୍ୟ, ଯଦି କୌଣସି କ୍ଷେତ୍ରଦ୍ୱାରା Z ଦିଗଟି ସ୍ଥିର ହୋଇଯାଏ, $(\vec{A}_J) = M_J\hbar$, ଏଠାରେ $M_J = J, J - 1, \cdots, -J$ । ତେଣୁ ଯଦି $L = 0$, $J = S$ ହେବ; ଯଦି $S = 0$, $J = L$; ଏଦୁଇଟିରୁ ଯେକୌଣସି କ୍ଷେତ୍ରରେ ସ୍ତରଟି ଏକଧାର ବିଶିଷ୍ଟ । ଯଦି $L \geq S$; Jର $L + S$ଠାରୁ $L - S$ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ $2S + 1$ଟି ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ବ୍ୟବଧାନର ମୂଲ୍ୟ ହେବ । ଯଦି $L < S$, Jର $2L + 1$ଟି ମୂଲ୍ୟ $S + L$ରୁ $S - L$ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ବ୍ୟବଧାନରେ ହେବ । ଏହି ସମ୍ପର୍କଗୁଡ଼ିକ ଫଳରେ



[ଚିତ୍ର ୧୭.୭ ଗୋଟିଏ 4p4d ଅବସ୍ଥାନରୁ ଜାତ ସୂକ୍ଷ୍ମଗଠନ ବିଭାଜନ । ତ୍ରିଧାର ସ୍ତରମାନଙ୍କର ବ୍ୟବଧାନ ଦ୍ୱାରା ଅନ୍ତ୍ୟ ବ୍ୟବଧାନ ନିୟମ ଦର୍ଶାଯାଇଛି]

ଗୋଟିଏ ଦତ୍ତ ବହୁଧାରରେ ଥିବା ସ୍ତରମାନଙ୍କର ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ସଂଖ୍ୟାରୁ ପଦ ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ L ଓ Sର ମୂଲ୍ୟ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ମୂଲ୍ୟବାନ ତଥ୍ୟ ମିଳିପାରିବ । ସ୍ତରମାନଙ୍କର ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ସଂଖ୍ୟା T ହୁଏ ତ $2L + 1$ ସହିତ ବା (ଅଧିକ ସମୟରେ ମିଳୁଥିବା) $2S + 1$ ସହିତ ନିଶ୍ଚୟ ସମାନ ହେବ; ଅତଏବ, ହୁଏତ $L = (T - 1)/2$ ବା, (ଅଧିକ ସମୟରେ ହେଉଥିବା) $S = (T - 1)/2$ । ଏହାପରେ ଏହି ବହୁଧାର ଓ ଅନ୍ୟ ବହୁଧାରମାନଙ୍କ (ଯେଉଁମାନଙ୍କ ପାଇଁ L ଓ S ଜଣାଅଛି) ମଧ୍ୟରେ ସଂକ୍ରମଣ ସ୍ତର ବଣ୍ଟ

ନିୟମ ସବୁ ପ୍ରୟୋଗ କରି L ବା Sର ଅନୁମିତ ମୂଲ୍ୟର ସଠିକତା ସ୍ଥିର କରାଯାଇ ପାରିବ ।

L ବା S ଯଦି ଶୂନ୍ୟ ନହୁଏ, ଗୋଟିଏ ଦତ୍ତ LS ପଦର ଅନ୍ତର୍ଗତ ଏକାଧିକ ଶକ୍ତି ସ୍ତରଟି ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-କକ୍ଷ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଫଳରେ ଭାଙ୍ଗିଯାଏ । Jର ବିଭିନ୍ନ ମୂଲ୍ୟ ଦ୍ୱାରା ଏହି ସୂକ୍ଷ୍ମସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ପରିଚିତ $4p4d$ ଅବସ୍ଥାନରୁ ଏହିପରି ଜାତ ବିଭିନ୍ନ L, S, j ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ଚିତ୍ର ୧୭·୭ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଏହି ଅବସ୍ଥାନ ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଓ ଘୂର୍ଣ୍ଣନମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ P, D ଓ F ପଦଗୁଡ଼ିକ ଜାତ ହୁଏ ।

ସ୍ତରମାନଙ୍କର ଦୁଇଟି ବହୁଧାର ମଧ୍ୟର ସମସ୍ତ ସଂକ୍ରମଣ ଦ୍ୱାରା ଜାତ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ରେଖାମାନଙ୍କର ସମାହାରକୁ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରାଲ ବହୁଧାର କୁହାଯାଏ ।

17·8 LS ବହୁଧାର ସ୍ତରମାନଙ୍କର ବ୍ୟବଧାନ :

ଗୋଟିଏ LS ବହୁଧାର ମଧ୍ୟରେ ସ୍ତରମାନଙ୍କର ବ୍ୟବଧାନ ପାଇଁ ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକ ଗୋଟିଏ ଦରକାରୀ ସରଳ ସୂତ୍ର ଦେଇଅଛି । ଏହାର ନାମ ଲାଣ୍ଡେ ବ୍ୟବଧାନ ନିୟମ । ଗୋଟିଏ ଦତ୍ତ LS ବହୁଧାର ସ୍ତରର J ସ୍ତରମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ କୌଣସି ଗୋଟିକ ପାଇଁ ଘୂର୍ଣ୍ଣନକକ୍ଷ ପ୍ରକ୍ଷେପଣତା ପାରମାଣବିକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ବୃଦ୍ଧି ସମୀକରଣ (୧୪·୨୩)କୁ ବହୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ମଣ୍ଡଳ ପାଇଁ ପ୍ରସାର କଲେ ମିଳିଥାଏ ।

$$\Delta E = \tfrac{1}{2}B\,[J\,(J+1) - L\,(L+1) - S\,(S+1)] \qquad (୧୭·୧୦)$$

ଏଠାରେ B ଗୋଟିଏ ଧ୍ରୁବ– ଏହାର ମୂଲ୍ୟ ଗୋଟିଏ ବହୁଧାର ସ୍ତରରୁ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ବହୁଧାର ସ୍ତରକୁ ଗଲେ ବଦଳିଯାଏ । j ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ସ୍ତରର ଶକ୍ତି ଓ j+1 ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ସ୍ତରର ଶକ୍ତି ମଧ୍ୟରେ ତାରତମ୍ୟ ΔEର ତରଳୀ ମୂଲ୍ୟମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ତାରତମ୍ୟ ବା $E_{j+1} - E_j = \tfrac{1}{2}B\,[(J+1)\,(J+2) - J\,(J+1)] = B\,(J+1)$ (୧୭·୧୧)

ଏହି ସମୀକରଣ ଲାଣ୍ଡେଙ୍କ ବ୍ୟବଧାନ ନିୟମକୁ ପ୍ରକାଶ କରୁଅଛି ।

ଦୁଇଟି ପରସ୍ପର ଅବସ୍ଥିତ (Successise) J ସ୍ତରର ଶକ୍ତିମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ତାରତମ୍ୟ ଗୋଟିଏ ଦତ୍ତ LS ପଦରେ jର ଦୁଇ ମୂଲ୍ୟ ମଧ୍ୟରୁ ବୃହତ୍ତରଟି ପ୍ରତି ଅନୁପାତୀ । ଏହି ନିୟମଟି ବିଭିନ୍ନ ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ସ୍ତରମାନଙ୍କର Jର ମୂଲ୍ୟସବୁ ନିର୍ଦ୍ଧାରଣ କରିବାରେ ବହୁ ସାହାଯ୍ୟ କରିଥାଏ ।

ସମୀକରଣ (୧୭.୧୦) ଅନୁସାରେ, Jର କେତେକ ମୂଲ୍ୟପାଇଁ $\triangle E$ ଯୁକ୍ତ ଓ ଅନ୍ୟଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ ବିଯୁକ୍ତ । ପ୍ରତ୍ୟେକ ସ୍ତରକୁ ସଂଖ୍ୟା ପ୍ରତି ଅନୁପାତୀ ଭାବରେ ଗୁରୁତ୍ୱ ଦିଆଗଲେ, ଅର୍ଥାତ୍ $2j+1$ ନିଆଗଲେ, ଏଥିରେ ଥିବା M_j ଅବସ୍ଥା ପାଇଁ $\triangle E$ ଗୁରୁତ୍ୱ ଗଡ଼ ହୋଇଯିବ । ଗୁରୁତ୍ୱ ଗଡ଼ ସ୍ତରର ମୋଟ ଶକ୍ତି

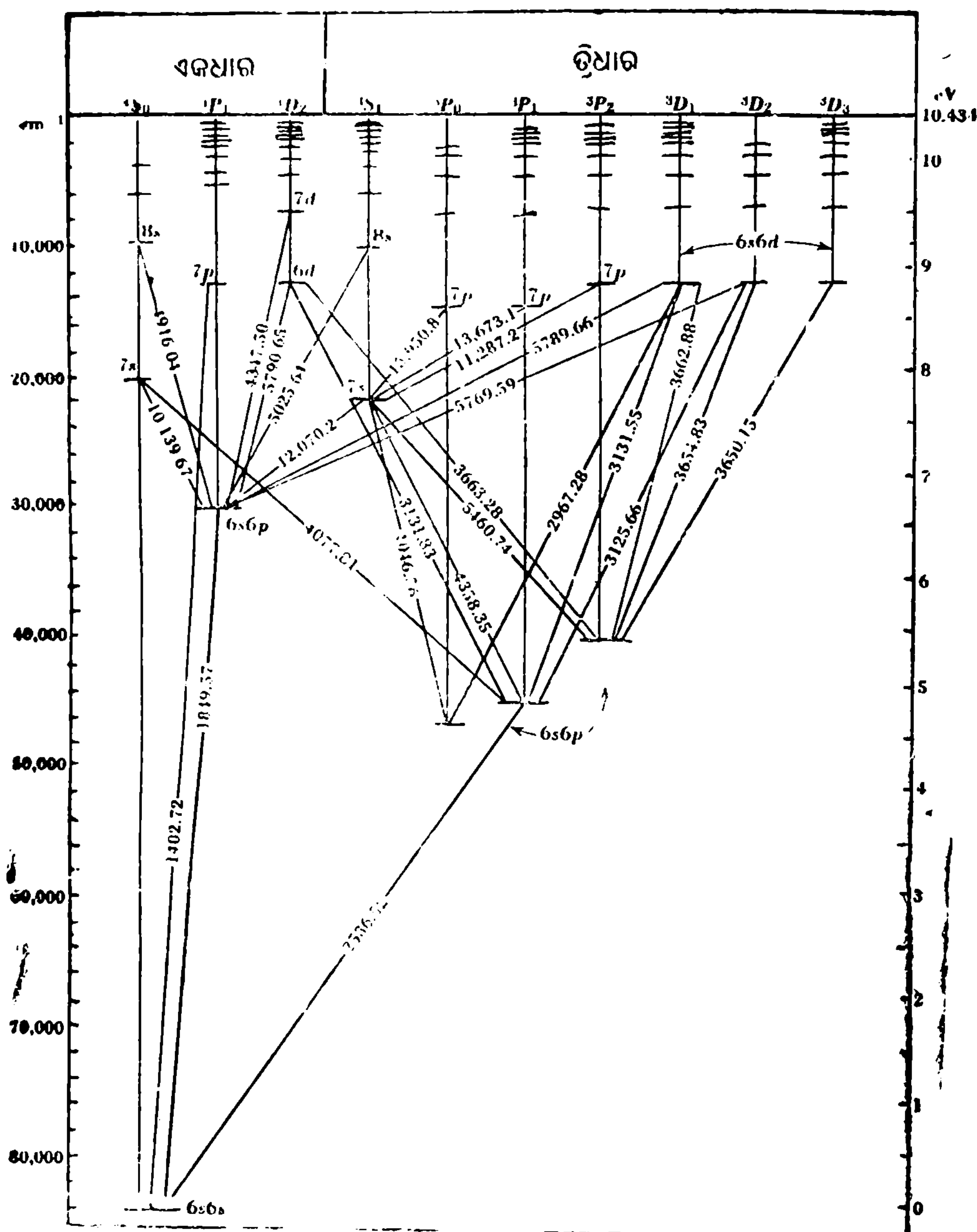
$$E_{LS} = \frac{\Sigma_J (2J+1)E_J}{\Sigma_J (2J+1)} \qquad (୧୭.୧୨)$$

ସୂତ୍ରଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରିବ ।

ଯେତେବେଳେ ପଦମାନଙ୍କର ସୂକ୍ଷ୍ମଗଠନ ବିସ୍ତାରକୁ ନେଇ ଶଡ଼୍‌ବର୍ଗ ସୂତ୍ର ଲେଖାଯାଏ, ସେତେବେଳେ ପ୍ରକୃତରେ ଏହିପରି ଗୋଟିଏ ଗୁରୁତ୍ୱ ଗଡ଼ ସ୍ତରକୁ ବୁଝାଇଥାଏ ।

17·9 ମର୍କରୀର ଅର୍କ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ :

ମର୍କରୀର ଜଣାଶୁଣା ଅର୍କ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ବହୁ ଅନୁଧ୍ୟାନଯୋଗ୍ୟ ବିଷୟ ଯୋଗାଇଥାଏ । ଚିତ୍ର ୧୭.୭୧ର ପ୍ରଧାନ ସ୍ତରସବୁ ଓ ବହୁରେଖା ସାଧାରଣ ଭାବରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇ ଅଛି । $6s6p$ ପରି ଗୋଟିଏ ଅବସ୍ଥାନ ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଫଳରେ କପରି ଏକଧାର ଓ ତ୍ରିଧାର P ପଦସବୁ ଦିଏ, ତାହା ଲକ୍ଷ୍ୟ କରିବା ଶିକ୍ଷଣୀୟ । ଏଥିରୁ ପରବର୍ତ୍ତୀ $^3P_0$, $^3P_1$ ଓ $^3P_2$ ସ୍ତରମାନଙ୍କରେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-କକ୍ଷ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାଦ୍ୱାରା ଭାଙ୍ଗିଯିବ । ମର୍କରୀର ଶକ୍ତିସ୍ତର ଚିତ୍ର ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନର LS ଯୋଡ଼ର ଉଦାହରଣ କେତେକ ପରିମାଣରେ ଦର୍ଶାଇଥାଏ । ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ଅନ୍ତଃମିଳନ ରେଖା (ଏକଧାର ଓ ତ୍ରିଧାର ପଦମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ) ମଧ୍ୟ ଦେଖାଯାଏ; ତେଣୁ LS ଯୋଡ଼ ମର୍କରୀରେ ସୁନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ନୁହେଁ । ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାର ଅବସ୍ଥାନ ହେଲା $6s^2$, ତେଣୁ ମର୍କରୀ ପରମାଣୁର ସାଧାରଣ ଅବସ୍ଥା ହେଲା $^1S_0$ । $6s6p$ ^1P, $6s6p$ ^3P, $6s6d$ ^1D ଓ $6s6d$ ^3D ।



[ଚିତ୍ର ୧୬·୭ ସୂକ୍ଷ୍ମ ମର୍କରୀ ପାଇଁ ସର୍ବପ୍ରଧାନ ଶକ୍ତିସ୍ତର ଓ ଆଲୋକ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ]

ଏହି ସୂତ୍ରେଟି ପ୍ରଧାନ ପଦରେ *n*ର ପରିବର୍ତ୍ତନ ନକରି କେବଳ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନସ୍ଥ *l*ରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ଫଳରେ ପାରମାଣବିକ ଶକ୍ତିରେ ଅପେକ୍ଷାକୃତ ଦନ୍ଧୁ ବୃଦ୍ଧ ହୋଇଥାଏ । ଅନୁମିଳନ ରେଖା, $6s^2\ {}^1S_0 \leftarrow 6s6p\ {}^3P_1$, $\lambda = 2536 \cdot 52$ ମର୍କ୍ୟୁ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ଗୋଟିଏ ପ୍ରଧାନ ବାଇରେଖି ପର ରେଖା । ଏହାର ତୀବ୍ରତାରୁ ଜଣାଯାଏ ଯେ Zର ବୃଦ୍ଧି ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ LS ଯୋଡ଼ରେ ଥିବା ଆସନ୍ନ ହ୍ରାସ କ୍ରମେ ଦୁର୍ବଳ ହୋଇଯାଏ । *Hg* (Z = 80) ପାଇଁ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-କକ୍ଷ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଅଧିକ ହୋଇଥାଏ ଏବଂ L ଓ S ପାଇଁ ବଣ୍ଟ ନିୟମ ଭୂଲ ହେବାକୁ ଆରମ୍ଭ କରେ (ଦେଖ ଅନୁ: ୧୭·୧୧) ସ୍ତରମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସଂକ୍ରମଣ ସମ୍ଭାବନା ଅଧିକ ହୁଏ, ଶୋଷଣରେ ରେଖାଟିର ତୀବ୍ରତାରୁ ଏହା ଜଣାପଡ଼ୁଛି । ଏହା ସାଙ୍ଗକୁ $6s6p\ {}^3P_1$ ଅବସ୍ଥାକୁ ଉପର ସ୍ଥିତିର ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଖସିପଡ଼ିବା ଦ୍ୱାରା ଏହି ଅବସ୍ଥାରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସାନ୍ଦ୍ରତା ବଢ଼ିଯାଏ ।

$6s6p$ ଅବସ୍ଥାର $^3P_2$ ଓ $^3P_0$ ସ୍ତରମାନଙ୍କରେ ସ୍ୱଳ୍ପଗୁଡ଼ିକରେ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ଜମା ହୋଇଯାଆନ୍ତି । ଏହି ସ୍ତରମାନଙ୍କରୁ ବିକିରଣ ନିଷ୍କାସନ କରି ସେଗୁଡ଼ିକ ସାଧାରଣ ଅବସ୍ଥାକୁ ଯାଇପାରିବେ ନାହିଁ, କାରଣ $^1S_0 \leftarrow {}^3P_2$ରେ $\Delta j = 2$ ହେବ ଏବଂ $^1S_0 \rightarrow {}^3P_0$ରେ $j = 0$ରୁ $j = 0$କୁ ସଂକ୍ରମଣ ହେବ; ଏ ଦୁଇଟି jର ବଣ୍ଟ ନିୟମ ଅନୁସାରେ ନିଷିଦ୍ଧ । ଯେଉଁ ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ସାଧାରଣ ସ୍ତରର ଉପରକୁ ଥାଏ ଓ ଯେଉଁ ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକରୁ ବିକିରଣକାରୀ ସଂକ୍ରମଣ ଅତ୍ୟନ୍ତ ଅସମ୍ଭବ, ସେଗୁଡ଼ିକୁ ଅର୍ଦ୍ଧସ୍ଥାୟୀ ସ୍ତର କୁହାଯାଏ । ଯଦି ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁ ବାହ୍ୟ ପ୍ରଭାବ ନପାଏ, ତେବେ ଏପରି ଅବସ୍ଥାରେ ବହୁ ସମୟ ରହିପାରେ । ତେବେ ଏହାକୁ ସାଧାରଣ ଅବସ୍ଥାକୁ ଦ୍ୱିତୀୟ ଶ୍ରେଣୀର ଆଘାତ ଦ୍ୱାରା * ଅଣାଯାଇପାରିବ ଏବଂ ସମ୍ଭବତଃ ଏହି ପ୍ରକାରରେ $^3P_2$ ଓ $^3P_0$ ସ୍ତରମାନଙ୍କରୁ ପରମାଣୁ ସବୁ ସେମାନଙ୍କର ସାଧାରଣ ଅବସ୍ଥାକୁ ଆସିଥାନ୍ତି ।

---

* ପୂର୍ବରୁ ଉତ୍ତେଜିତ ନହୋଇଥିବା କୌଣସି ଅଣୁ ବା ପରମାଣୁରେ ଉତ୍ତେଜନା ଜନ୍ମାଇବାକୁ "ପ୍ରଥମ ଶ୍ରେଣୀର ଆଘାତ" କୁହାଯାଏ । ଯେଉଁ ଆଘାତରେ ଗୋଟିଏ ଉତ୍ତେଜିତ ଅଣୁ ବା ପରମାଣୁ ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାକୁ ଫେରିଆସେ, ଉତ୍ତେଜକ ଶକ୍ତି କଣିକାମାନଙ୍କର ଗତିଜ ଶକ୍ତିରେ ଦେଖାଦିଏ, ସେପ୍ରକାରର ଆଘାତକୁ "ଦ୍ୱିତୀୟ ପ୍ରକାରର ଆଘାତ" କୁହାଯାଏ ।

L ପାଇଁ ବର୍ଣ୍ଣ ନିୟମ ଉଲଲ୍ଲଂଘିତ ପାଳିତ ହୋଇଥାଏ । ଚିତ୍ର ଦିଆଥିବା ପରି L ର ମୂଲ୍ୟ ସବୁ ନିଆଗଲେ, S ପଦସବୁ କେବଳ P ପଦମାନଙ୍କ ସହିତ ମିଳିତ ହେବ, P, S ଓ D ସହିତ ଏବଂ ଏହିପରି ଚାଲିବ । ତେବେ, ଚିତ୍ରରେ ଦେଖା ନଯାଇଥିବା କେତେକ ମଳିନ ରେଖା $\triangle L=2$ ଅନୁସାରେ ଜାତ ହୋଇଥିବା ଦେଖାଯାଇଥାଏ । ଚିତ୍ର ୧୭·୬ରେ ଦେଖାଯାଇଥିବା ସମସ୍ତ ସଂକ୍ରମଣ ଅବସ୍ଥାନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ବର୍ଣ୍ଣ ନିୟମର ଅନୁଗାମୀ ହୋଇଥାଏ । କେବଳ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଏହାର n ଓ l ବଦଳାଇଥାଏ ଏବଂ ସର୍ବଦା $\Delta l=\pm 1$ ।

ଯଦି ଇଚ୍ଛା ହୁଏ, ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ରେଖାଗୁଡ଼ିକୁ ସିରିଜ୍‌ମାନଙ୍କରେ ଦଳ ଦଳ କରି ଦିଆଯାଇପାରେ । ଯେପରି, ଏକଧାରୁ ମଣ୍ଡଳ ନିମ୍ନତମ $^1S_0$ ସ୍ତରରେ ଶେଷ ହେଉଥିବା ସମସ୍ତ ରେଖା ଏକଧାରୁ ପ୍ରଧାନ ସିରିଜ୍ ଗଠନ କରିଥାଏ । କେବଳ ଏଗୁଡ଼ିକ ଓ $\lambda=2536A^\circ$ ରେଖାଟି ମର୍କରି ବାଷ୍ପରେ ଶୋଷଣ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ମଧ୍ୟରେ ଦେଖାଯାଇଥାଏ । ନିମ୍ନତମ ^1P ସ୍ତରରେ ଶେଷ ହେଉଥିବା ରେଖାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ଯେଉଁଗୁଡ଼ିକ ^1S ପଦଗୁଡ଼ିକରୁ ଆରମ୍ଭ ହୋଇଥାନ୍ତି, ସେଗୁଡ଼ିକ ଗୋଟିଏ ତୀକ୍ଷ୍ଣ ସିରିଜ ଗଠନ କରିଥାନ୍ତି; ଯେଉଁଗୁଡ଼ିକ ^1D ପଦମାନଙ୍କରୁ ଆରମ୍ଭ କରିଥାନ୍ତି । ଗୋଟିଏ ମଳିନ ସିରିଜ୍ ଗଠନ କରନ୍ତି । ଠିକ୍ ଯେପରି ସୋଡ଼ିୟମ୍ ପାଇଁ ହୋଇଥାଏ; ଏହିପରି ଅନ୍ୟସବୁ ମଧ୍ୟ ଗଠିତ ହୋଇଥାଏ । ତ୍ରିଧାରୁ ମଣ୍ଡଳମାନଙ୍କରେ ଏହିପରି ସିରିଜ୍ ମଧ୍ୟ ବର୍ଣ୍ଣଯାଇ ପାରେ । ତେବେ ଏପରି ଏକ ଜଟିଳ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର ରେଖାଗୁଡ଼ିକୁ ଦଳ ଦଳ କରି ରଖିବା ଖୁବ୍ ଉତ୍ସାହଜନକ ନୁହେଁ; ବିଶେଷତଃ ଯେତେବେଳେ ପୃଷ୍ଠଗଠନ ମର୍କରି ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ପରି coarse । ଯେପରି ବାଇଗେଣି ପର ଆଲୋକର ରେଖାମାନଙ୍କର ବିଶାଳ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ଷଟ୍‌ରେଖା, $\lambda=2967$ରୁ $\lambda=3663$ ସର୍ବନିମ୍ନ ^3Dରୁ ସର୍ବନିମ୍ନ ^3P ପଦ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ମିଶ୍ରି ତ୍ରିଧାରୁ ମଳିନ ସିରିଜ୍‌ର ପ୍ରଥମ "ରେଖା" ହେବ । $^1P_1 \leftarrow {}^1D_2$ (λ5791), $^3P_2 \leftarrow {}^3S_1$ (λ5461) ଓ $^3P_1 \leftarrow {}^3S_1$ (λ4358) ରେଖା ଗୁଡ଼ିକ ଜଣାଶୁଣା ହଳଦିଆ, ନୀଳ ଓ ଘନନୀଳ ରେଖା—ଏଗୁଡ଼ିକ ମର୍କରି ଆର୍କରୁ ବିକିରିତ ହୋଇଥାନ୍ତି ।

ଦୁଇଟି ଯାକ ସଂଯୋଜକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଉପର ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋନୀୟ ଅବସ୍ଥାକୁ ଯାଇ ପାରନ୍ତି $6p^2$ ଅବସ୍ଥାନ ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ କେତେକ ସ୍ତର ଅବସ୍ଥିତ ହୋଇଅଛି ।

ଅନ୍ୟ ଯେଉଁ ମୂଳମ ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ମର୍କରୀ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର ଅନୁରୂପ ସେମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ହିଲିୟମ; ଆଲ୍କାଲାଇନ ମୃତ୍ତିକା, ବେରିଲିୟମ୍, ମାଗ୍ନେସିୟମ, କାଲ୍ସିୟମ, ଷ୍ଟ୍ରନସିୟମ ଓ ବେରିୟମ; ମର୍କରୀ ଜିଙ୍କ ଓ କାଡ୍ମିୟମ୍‌ଙ୍କ ନାମ କୁହାଯାଇ ପାରେ । ଏହି ପ୍ରକାରର ବାହ୍ୟ ଆବରଣ ଥାଇ ଆୟନସବୁ C^{++}, Al^{++}, Si^{++}, Pb^{++}(ଯୁକ୍ତ ଚିହ୍ନର ସଂଖ୍ୟା ଆୟନରେ ଥିବା ଯୁକ୍ତ ସ୍ୱର୍ଗର ସଂଖ୍ୟା ବୁଝାଉଛି) ।

ଆଲୋକ ଦୃଷ୍ଟିରୁ ସକ୍ରିୟ ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବିଶିଷ୍ଟ ଦ୍ୱିଗୁଣ୍ୟ ଉପବର୍ଗର ପରମାଣୁ ସାଧାରଣ ଅବସ୍ଥାରେ ଦୁଇଟି S ଓ ଦୁଇଟି P ସଂଯୋଜକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଥିବା ପରମାଣୁ-ମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଗଠିତ ହୋଇଥାଏ । ଏହି ଘଟଣାମାନଙ୍କରେ ଦୁଇ S ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସାଧାରଣତଃ (କିନ୍ତୁ ସର୍ବଦା ନୁହେ) ରହେ, ମାତ୍ର କେବଳ ଦୁଇ P ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସକ୍ରିୟ ହୁଏ । ଏପ୍ରକାର ପରମାଣୁର ଉଦାହରଣ ହେଲା ମୂଳମ କାର୍ବନ, ସିଲିକନ, ଜର୍ମାନିୟମ, ଟିନ ଓ ଲେଡ୍ । ଆହୁରି ମଧ୍ୟ ଏହି ପ୍ରକାରର କେତେକ ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ୍ ନାଇଟ୍ରୋଜେନ ଫସ୍ଫରସ୍ ଓ ବିସମଥର ଏକ (ଯୁକ୍ତ) ଆୟନୀଭୂତ ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ଲାଗି ମିଳିଥାଏ ।

17·10 ସଦୃଶ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ .

ଯେତେବେଳେ ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଏକା n ଓ ଏକା l ହୁଏ, ସେମାନଙ୍କୁ ସଦୃଶ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ କୁହାଯାଏ । $5s^2$ ବା $5s7p^3$ ପରି ସଦୃଶ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଥିବା ଅବସ୍ଥାନମାନଙ୍କରେ ଅପବର୍ଜନ ନିୟମ ଅନୁସାରେ କେତେକ LS ପଦ ନିଷିଦ୍ଧ ହୋଇ ଯାଇଥାଏ । ଏଗୁଡ଼ିକ ଅନ୍ୟଥା ରହିଥାନ୍ତା ।

ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ମର୍କରୀରେ $6s^2$ ଅବସ୍ଥାନଟିକୁ ବିଚାର କର । ଉଭୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର n, l ଓ m_l ମୂଲ୍ୟ ସମାନ; ତେଣୁ ସେମାନଙ୍କର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା m_s ବିପରୀତ ହେବ । ପରିଣାମୀ S ନିଶ୍ଚୟ ଶୂନ୍ୟ ହେବ । ପ୍ରକୃତରେ କୌଣସି କୋଷ ବା ଘୂର୍ଣ୍ଣ କୋଷରେ, L = 0 ଓ S = 0; ଗୋଟିଏ $^1S_0$ ଅବସ୍ଥା ମିଳିବ ।

ଗୋଟିଏ ବାଟର ଉଦାହରଣ ହିସାବରେ ଆମେ ସଦୃଶ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସମ୍ଭାବ୍ୟ ଅବସ୍ଥା ସବୁ ପ୍ରଚଳିତ ଉପାୟରେ ସ୍ଥିର କରିବା ଅର୍ଥାତ୍ ଗୋଟିଏ nl ଘୂର୍ଣ୍ଣ-କୋଷର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସବୁ ବିଚାର କରିବା; ଗୋଟିଏ p^2 ଅବସ୍ଥାନ ବିଚାର କରିବା ।

ଆମେ ଯଦି $m_s = \frac{1}{2}$କୁ ↑ ଦ୍ୱାରା ଓ $m_s = -\frac{1}{2}$କୁ ↓ ଦ୍ୱାରା ସୂଚାଇବା; ଆମେ ଟେବୁଲ ୧୭.୩ରେ ଦିଆଥିବା ବିନ୍ୟାସ ଅବସ୍ଥା ସୃଷ୍ଟି କରିବାକୁ ଆରମ୍ଭ କରିବା । ଟେବୁଲ ୧୭.୩ର ପୃଷ୍ଠିକ ଓ ଯୌଗିକ-ସଂଯୋଜକମାନଙ୍କର ପାଉଲି ଅପବର୍ଜନ ନିୟମ ଅନୁସାରେ ଅନୁମୋଦିତ ସମସ୍ତ ସମ୍ଭବ । Σm_s ପରିଣାମୀ m_s ଓ Σm_l ପରିଣାମୀ M_L ।

ଟେବୁଲ ୧୭.୩ ଦୁଇଟି ସଦୃଶ p ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଙ୍କ ପାଇଁ ପଦସଂଜ୍ଞା

m_l			$M_L = \Sigma m_l$	$M_S = \Sigma m_s$	Term
1	0	−1			
↑	↑		1	1	*^{3}P
↑		↑	0	1	*
↑↓			2	0	△ ^{1}S
↑	↓		1	0	△
↓	↑		1	0	*
↑		↓	0	0	*
↓		↑	0	0	△
	↑↓		0	0	^{1}S
↓	↓		1	−1	*
↓		↓	0	−1	*
	↑	↓	−1	0	*
	↓	↓	−1	−1	*
	↓	↑	−1	0	△
	↑	↑	−1	1	*
		↑↓	−2	0	△

ଏଠାରେ M_Sର ସର୍ବାଧିକ ମୂଲ୍ୟ । ଓ $m_s = 1$ ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ ସର୍ବାଧିକ M_L = ମଧ୍ୟ । ଏହା ଗୋଟିଏ ^3P ପଦର ସୂଚନା ଦେଉଛି ଓ ସେଥିପାଇଁ M_Lର ମୂଲ୍ୟ 1, 0 – 1 ହୋଇପାରେ ଓ M_S 1, 0, – 1 ହୋଇପାରେ । ଉପରେ ଯେଉଁ ନଅଟି ତାରକା ଦ୍ୱାରା ଚହ୍ନିତ ସେଗୁଡ଼ିକ ଏହି ଅବସ୍ଥାକୁ ପୂରଣ କରୁଛନ୍ତି । (ବନ୍ଧନୀରେ ନଅଟିଯାକ ଜଣସ୍ୱ ରହିବେ, $M_L = 1$, $M_S = 0$ ଥିବା କେଉଁ ପଦ ନଆଗଲା, ତା'ର କୌଣସି ଗ୍ରାଧାନ୍ୟ ଏଠାରେ ନାହିଁ) । ଅବଶିଷ୍ଟ ସର୍ବାଧିକ M_S ହେଲା 0 ଓ ସମ୍ପୃକ୍ତ M_Lର ସର୍ବାଧିକ ମୂଲ୍ୟ 2, ତେଣୁ ଗୋଟିଏ ^1D ପଦ ରହୁଅଛି । ଏଥିରୁ ଦରକାର ହେଉଛି, $M_L = 2, 1, 0, -1, -2$; ପାଞ୍ଚଟି ଉପଯୁକ୍ତ ସହିତ △ ଦ୍ୱାରା ଚିହ୍ନିତ ହୋଇଅଛି । ଏହା ବାଦବା ପରେ ଆଉ ଗୋଟିଏ $M_s = 0$; $M_L = 0$ ରହିଲା—ଏହା ଗୋଟିଏ ^1S ଅବସ୍ଥା । ତେଣୁ P^2 ଅବସ୍ଥାନ ପାଇଁ ସମ୍ଭାବ୍ୟ ପଦଗୁଡିକ ହେଲ $^3P_{0,1,2}$; $^1D_2$ ଓ $^1S_0$ । ହେଲେ ଅସମ୍ପୂର୍ଣ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଙ୍କର (np; $n'p$) ସମ୍ଭାବ୍ୟ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ହେଲ $^3D_{1,2,3}$, $^1D_2$, $^3P_{0,1,2}$, $^1P_1$; $^3S_1$ ଓ $^1S_0$ । ଏହି ଅବସ୍ଥାଗୁଡିକ ତୁଳନାରେ ସମତୁଲ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ ସମ୍ଭାବ୍ୟ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକର ସଂଖ୍ୟା ବହୁତ କମ୍ ।

ସମ୍ପୂର୍ଣ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ଅନ୍ୟ ଅବସ୍ଥାନ ପାଇଁ ସମ୍ଭାବ୍ୟ ପଦଗୁଡିକ ଟେବୁଲ ୧୭.୩ ପରି ଟେବୁଲର ଗଠନରୁ ମିଳି ପାରିବ । ପ୍ରକୃତରେ ଯେଉଁ ପଦରେ M_L ବା M_S ବିଯୁକ୍ତ ସେ ପଦର କୌଣସି ବିସ୍ତାର କରିବା ଦରକାର ନାହିଁ; କାରଣ ଯୁକ୍ତ ଓ ବିଯୁକ୍ତ ମୂଲ୍ୟ ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ଗୋଟି ଏକ ସମରୂପ ସମ୍ବନ୍ଧ ରହୁଅଛି । ଟେବୁଲ ୧୭ ଗରେ ରେଖାର ତଳକୁ ସମସ୍ତ ସଂଖ୍ୟା ଉହ୍ୟ କରାଯାଇପାରେ । ବିଭିନ୍ନ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଅବସ୍ଥାନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ସମ୍ଭାବ୍ୟ ପଦଗୁଡ଼ିକ ଓ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଅବସ୍ଥାନରୁ ମିଳୁଥିବା ମୋଟ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକର ସଂଖ୍ୟା ଟେବୁଲ ୧୭.୪ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଛି ।

L ଓ Sକୁ କୌଣସି ପୂର୍ଣ୍ଣ ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷର ଅବଦାନ ସର୍ବଦା ଶୂନ୍ୟ ହୋଇଥିବାରୁ; ଏହା ସ୍ପଷ୍ଟ ଯେ ଗୋଟିଏ ପୂର୍ଣ୍ଣ ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷରୁ ଯଦି ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବାହାରିଯାଏ; ପୂର୍ଣ୍ଣ-କୋଷ-ବିଯୁକ୍ତ ଏକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ମଣ୍ଡଳଟି ପାଇଁ ପରବର୍ତ୍ତୀ L ଓ S ମୂଲ୍ୟ ଜଣସ୍ୱ ଯଥାକ୍ରମେ l ଓ $\frac{1}{2}$ ହେବ । ତେଣୁ ଗୋଟିଏ P^5 ଅବସ୍ଥାନ ଗୋଟିଏ ^2P ପଦ ଦେବ;

ଟେବୁଲ ୧୬·୪ ସଦୃଶ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପାଇଁ LS ପଦଗୁଚ୍ଛ

ଅବସ୍ଥାନ	ପଦ	ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଅବସ୍ଥା
s^2	^1S	1
p^2, p^4	$^3P, {}^1D, {}^1S$	15
p^3	$^4S, {}^2D, {}^2P$	20
d^2, d^8	$^3F, {}^3P, {}^1G, {}^1D, {}^1S$	45
d^3, d^7	$^4F, {}^4P, {}^2H, {}^2G, {}^2F, {}^2D, (2), {}^2P$	120
d^4, d^6	$^5D, {}^3H, {}^3G, {}^3F\ (2), {}^3D, {}^3P\ (2), {}^1I, {}^1G, (2), {}^1F, {}^1D, (2), {}^1S\ (2)$	210
d^5	$^6S, {}^4G, {}^4F, {}^4D, {}^4P, {}^2I, {}^2H, {}^2G\ (2), {}^2F\ (2), {}^2D\ (3), {}^2P, {}^2S$	252
f^2, f^{12}	$^3H, {}^3F, {}^3P, {}^1I, {}^1G, {}^1D, {}^1S$	91

ଠିକ୍ ଯେପରି ଗୋଟିଏ P^1 ଅବସ୍ଥାନ ଦେଇଥାଏ । ସେହିପରି ଗୋଟିଏ P^4 ଅବସ୍ଥାନର ପଦଗୁଡ଼ିକ ଗୋଟିଏ P^2 ଅବସ୍ଥାନର ପଦଗୁଡ଼ିକ ସହ ସମାନ । ସାଧାରଣ ଭାବରେ, ଗୋଟିଏ ଉପକୋଷ ଅଧାରୁ ଅଧିକ ପୂର୍ଣ୍ଣ ଥିଲେ ତାର ସମ୍ଭାବ୍ୟ ପଦଗୁଡ଼ିକ ଏଥିରେ ଶୂନ୍ୟସ୍ଥାନ ସଂଖ୍ୟା ସହିତ ସମାନ ସଂଖ୍ୟକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଅନୁମିତ ପଦଗୁଡ଼ିକ ସହ ସମାନ । ଟେବୁଲ ୧୬·୪ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ଉଦାହରଣ ଦେଖାଉଅଛି ।

ଗୋଟିଏ ଦତ୍ତ ଅବସ୍ଥାନରୁ କେଉଁ ପଦଗୁଡ଼ିକ ସମ୍ଭବ, ଜଣେ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରୋମିତ୍ରଜ୍ଞ କେବଳ ସେତିକରେ ସନ୍ତୁଷ୍ଟ ନୁହେଁ; ସେ ପଦଗୁଡ଼ିକର ଶକ୍ତିଗୁଡ଼ିକ ମଧ୍ୟରେ କିପରି ସମ୍ବନ୍ଧ ଅଛି ତା ମଧ୍ୟ ସେ ଜାଣିବାକୁ ଚାହାନ୍ତି । ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ଭୂମ୍ୟବସ୍ଥା ସ୍ଥିର କରିବାରେ ଏହା ଉଦିଷ୍ଟଭାବରେ ଆବଶ୍ୟକ ହୋଇଥାଏ । LS ଯୋଡ଼ ପାଇଁ ଭୂମ୍ୟବସ୍ଥାରେ ସର୍ବଦା

ବ୍ୟବହୃତ ହେଉଥିବା ଦୁଇଟି ନିୟମ ଅଛି । ଏଗୁଡ଼ିକ ଉତ୍ତେଜିତ ଅବସ୍ଥା ପାଇଁ ସର୍ବଦା ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇ ପାରିବ ନାହିଁ ।

ହୁଣ୍ଡଙ୍କ ନିୟମ : ସଦୃଶ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ପଦଗୁଡ଼ିକରୁ (1) ଯେଉଁଟିର ସର୍ବାଧିକ ବହୁଗୁଣିତ (multiplicity) 2S+1, ତାହା ସର୍ବନିମ୍ନରେ ରହେ ଓ ବହୁଗୁଣିତ (multiplicity) କମିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ପଦ ଶକ୍ତିଗୁଡ଼ିକ ବଢ଼ିଥାଏ ଏବଂ (2) ଦତ୍ତ ବହୁଗୁଣିତ (multiplicity) ଯୁକ୍ତ ପଦଗୁଡ଼ିକ ମଧ୍ୟରୁ ସର୍ବାଧିକ L ବିଶିଷ୍ଟ ପଦ ସର୍ବନିମ୍ନରେ ରହେ ।

ବହୁଧାର ନିୟମ : ସଦୃଶ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କଠାରୁ ଗଠିତ ବହୁଧାର ପାଇଁ ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷଟି ଅର୍ଦ୍ଧେକ ବା ତା'ଠାରୁ କମ୍ ପୂର୍ଣ୍ଣ ଥିଲେ Jର ସର୍ବନିମ୍ନ ମୂଲ୍ୟ ସର୍ବନିମ୍ନରେ ରହେ; ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷଟି ଯଦି ଅଧାରୁ ଅଧିକ ପୂର୍ଣ୍ଣ ଥିଲେ Jର ସର୍ବାଧିକ ମୂଲ୍ୟ ସର୍ବନିମ୍ନରେ ରହେ ।

ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ଟଙ୍ଗଷ୍ଟନ, $_{74}W$ର ଗୋଟିଏ d^4 ଅବସ୍ଥାନ ରହିଅଛି । d ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷରେ 10ଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ରହିଥିବାରୁ ଓ ସେଥିରୁ 5ର ଏକା ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ହେଉ ଥିବାରୁ, ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥା ପାଇଁ ସର୍ବାଧିକ S ହେବ $(4\times\frac{1}{2}=)2$ । ସ୍ୱଚ୍ଛେଟିଯାକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଙ୍କର ଏକା ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ହୋଇଥିବାରୁ, ସେମାନଙ୍କର ନିଶ୍ଚୟ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ m_l ହେବ ଏବଂ m_lର ସର୍ବାଧିକ ସମ୍ଭାବ୍ୟ ମୂଲ୍ୟ ହେବ $(2+1+0+-1=)2$ । $L=2$ ଓ $S=2$ ହେଲେ Jର ସର୍ବନିମ୍ନ ମୂଲ୍ୟ ହେବ 0, ତେଣୁ $_{74}W$ର ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥା ହେବ $^5D_0$ । ଓସ୍‌ମିୟମ୍ (Z=76)ର ଗୋଟିଏ d^6 ଅବସ୍ଥାନ ରହିଅଛି, ଗୋଟିଏ ପୂର୍ଣ୍ଣ ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷରୁ 4ଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ କମ୍, ତେଣୁ ପୁଣି ଥରେ ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାର $S=2$ ଓ $L=2$ ହେବ । ତେବେ, ଏଥର ସର୍ବାଧିକ J ସର୍ବନିମ୍ନରେ ରହିବ, ବହୁଧାରଟି ଓଲଟିଯିବ ଓ ଭୂମ୍ୟବସ୍ଥା ହେବ $^5D_4$ ।

ଯଦି ଗୋଟିଏ ଅବସ୍ଥାନରେ ସଦୃଶ ଓ ଅସଦୃଶ ଉଭୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଥାନ୍ତି, ସଦୃଶ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପଦଗୁଡ଼ିକରୁ ଆରମ୍ଭ କରି ଓ ପରେ ଅନ୍ୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକର ଅବଦାନ ଗୋଟି ଗୋଟି କରି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ନେଇ ବିସ୍ତାର କରି LS ସୂକ୍ଷ୍ମଗଠନ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଇ

ପାରିବ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ନାଇଟ୍ରୋଜେନର ଗୋଟିଏ ଉତ୍ତେଜିତ ଅବସ୍ଥାରେ p^2d ଅବସ୍ଥାନଟିଏ ଥାଏ । p^2 ଅବସ୍ଥାନ ସହିତ d ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟିଏ ଯୋଗ କଲେ କେବଳ $^3P_{0,1,2}$ ପଦ ପାଇଁ $^4F_{\frac{3}{2},\frac{5}{2},\frac{7}{2},\frac{9}{2}}$, $^4D_{\frac{1}{2},\frac{3}{2},\frac{5}{2},\frac{7}{2}}$, $^4P_{\frac{1}{2},\frac{3}{2},\frac{5}{2}}$, $^2F_{\frac{5}{2},\frac{7}{2}}$, $^2D_{\frac{3}{2},\frac{5}{2}}$ ଓ $^2P_{\frac{1}{2},\frac{3}{2}}$ ସମ୍ଭାବନା ସବୁ ଦେବ, d ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟିକୁ $^1D_2$ ଓ $^1S_0$ ପଦମାନଙ୍କ ସହ ମିଶାଇଲେ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ଅନ୍ୟ ସ୍ତର ମିଳିପାରିବ ।

17.11 jj ପ୍ରକାରର ଯୋଡ଼ :

ପରମାଣୁ ସଂଖ୍ୟାର ବୃଦ୍ଧି ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ, ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-କକ୍ଷ ପ୍ରଭାବ ଅତି କ୍ଷିପ୍ର ଗତିରେ ବଢ଼ିଯାଏ । ଏହା ଫଳରେ J ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ସ୍ପଷ୍ଟ LS ବହୁଧାରମାନଙ୍କରେ ଦଳ ଦଳ ହେବାର ପ୍ରବୃତ୍ତି କ୍ରମେ କମି କମିଯାଏ ଏବଂ L ଓ S ପାଇଁ ବର୍ଗ ନିୟମ ଅଧିକରୁ ଅଧିକ ଅ-ଦାମୀ ହୋଇପଡ଼େ । ଶେଷରେ, ବେଶୀ ଗୁରୁ ପରମାଣୁମାନଙ୍କରେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-କକ୍ଷ ପ୍ରଭାବ ଅବଶିଷ୍ଟ ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ତୁଳନାରେ ଏତେ ପ୍ରଧାନ ହୋଇଯାଏ ଯେ, ଅନୁ ୧୭.୫ରେ କୁହାଯାଇଥିବା ଅନ୍ୟପ୍ରକାର ଯୋଡ଼ର ଆସନ୍ନ ହିସାବ ନେବାକୁ ହୁଏ । ଏହାକୁ jj ଯୋଡ଼ କୁହାଯାଏ ।

ଆଲୋଚନ ତତ୍ତ୍ୱର ଶୂନ୍ୟକୋଟୀର ଅବସ୍ଥାରେ, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାକୁ ଅବହେଳା କରିବା; କେବଳ ଯାହା କେନ୍ଦ୍ରସ୍ଥ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଏହାର ହାରାହାରି ପ୍ରଭାବ ବିବେଚନା କରାଯିବ । ପ୍ରତ୍ୟେକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ n, l, j, m_j ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କରୁ ଗୋଟିକରେ ଥିବାର ଅନୁମାନ କରାଯିବ । ତେବେ ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁ ପାଇଁ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥା ପରମାଣୁର ପ୍ରତ୍ୟେକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ ଏହିପରି ଗୋଟିଏ ସେଟ୍ ଉଲ୍ଲେଖ କରି ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରିବ ।

$$n_1, l_1, j_1, n_2 l_2 j_2, \cdots n_N, l_N, j_N \text{ ।}$$

ଯଦି ବନ୍ଧର କରାଯାଇଥିବା ସମସ୍ତ ବିକିରଣକାରୀ ସଂକ୍ରମଣରେ କୌଣସି କୋଷ କୋଷ ପୂର୍ଣ୍ଣ ରହେ, ତେବେ ସେଥିରେ ଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକୁ ଛାଡ଼ି ଦିଆଯାଇପାରେ । (ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ଶକ୍ତି m_jର ମୂଲ୍ୟ ଉପରେ ନିର୍ଭରଶୀଳ ନୁହେ) ।

କେବଳ ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଅବସ୍ଥାନର ଅନ୍ତର୍ଗତ ଶକ୍ତିସ୍ତରଗୁଡ଼ିକର ବିସ୍ତର ପାଇଁ କେବଳ j ର ସେଟ୍‌ଟିଏ ଲେଖିଦେଲେ ଯଥେଷ୍ଟ ହେବ, ଏଥିରୁ ବୁଝିବାକୁ ହେବ ଯେ, j_1ଟି n_1 l_1 ସଙ୍ଗରେ ଯିବ ଓ ଏହିପରି ଅନ୍ୟସବୁ । ଗୋଟିଏ ଶକ୍ତିସ୍ତର ଏହିପରି ସୂଚିତ ହେଲେ ତାକୁ jj ସ୍ତର ବା ପଦ କୁହାଯାଏ । ଗୋଟିଏ ଦତ୍ତ ଅବସ୍ଥାନର ଅନ୍ତର୍ଗତ jj ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକର ସଂଖ୍ୟା 2_Nରୁ ଅଧିକ ହୋଇ ପାରିବ ନାହିଁ; କାରଣ ପ୍ରତି j ସର୍ବାଧିକ ଦୁଇଟି ମୂଲ୍ୟ ଗ୍ରହଣ କରିପାରେ, $l+\frac{1}{2}$ ଓ $l-\frac{1}{2}$ ।

ଅବସ୍ଥାନମାନଙ୍କର ବଚ୍ଛ ନିୟମ ସାଙ୍ଗକୁ, ବର୍ତ୍ତମାନର j ର ଗୋଟିଏ ବଚ୍ଛ ନିୟମ ମିଶିଲା $\Delta j = 0$ ବା ± 1 । jj ଯୋଡ଼ ପାଇଁ ବିଶେଷ ନିୟମ ନିମ୍ନଦତ୍ତ ଆକାରରେ ସଂକ୍ଷେପରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇ ପାରିବ ।

୧ । କେବଳ ଗୋଟିଏ $n, l,$ j କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟାର ସେଟ୍ ବନ୍ଧନରହିତ ସଂକ୍ରମଣରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇ ପାରିବ, "ଅରକରେ ମାତ୍ର ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସଂକ୍ରମିତ ହୋଇ ପାରିବ ।"

୨ । ସଂକ୍ରମଣକାରୀ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ

$$\Delta l = \pm 1 \qquad \Delta j = 0 \text{ ବା } \pm 1$$

ତାପରେ ଅବଶିଷ୍ଟ ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ଦ୍ୱିତୀୟ କ୍ଷୁଦ୍ର ଆଲୋଡ଼ନ ସ୍ତରରେ ବିସ୍ତର କରାଯାଇପାରିବ । ଏଥିପାଇଁ ବ୍ୟବସ୍ଥା କରିବାରେ m_J ସବୁ ଥିବା ଫଳନଗୁଡ଼ିକର ସଂହତ ବିସ୍ତରକୁ ନେବା, ଯେପରିକି ଏଥିରେ ସାଧାରଣ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା j ଓ m_J ବ୍ୟବହାର କରି ପରିଣାମୀ କୌଣିକ ସଂବେଗ $\vec{A}_J$କୁ କ୍ୱାଣ୍ଟମୀକୃତ କରିବା ସମ୍ଭବ ହେବ । ବିଭିନ୍ନ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ J ଭେକ୍ଟରଗୁଡ଼ିକୁ ବିଭିନ୍ନ ଉପାୟରେ ଯୋଗ କରି j ଭେକ୍ଟର ପାଇବା ଭଲ କରାଯାଇପାରିବ ବୋଲି ମନେ ହୁଏ । ପୂର୍ବପରି ଯାଇଁଥରେ, ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ବଳସବୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପରିଣାମୀ କୌଣିକ ସଂବେଗ $\vec{A}_J$କୁ ସେମାନଙ୍କର ଭେକ୍ଟର ଯୋଗଫଳ $\vec{A}_J$ର ଚାରିପାଖରେ କେନ୍ଦ୍ରାୟମାନ ହୋଇଥାଏ ।

ତେବେ ଅବଶିଷ୍ଟ ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ପ୍ରତି jj ପଦର ଅନ୍ତର୍ଗତ j ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକୁ ସାମାନ୍ୟ ପରିମାଣରେ ଅଲଗା ଅଲଗା କରି ଦେଇଥାଏ, ଏହାଦ୍ୱାରା jj ବହୁଧାର ସ୍ତର ଉତ୍ପନ୍ନ ହୋଇଥାଏ । ଏହି ସ୍ତରମାନଙ୍କ ଲାଗି ଗୋଟିଏ ସଙ୍କେତ ପଦ୍ଧତିରେ ମିଳିଥାଏ । ଯଥା, J = 3 ହୋଇଥିବା ଗୋଟିଏ J ସ୍ତରର jj ବା LS ଯୋଡ଼ରେ ଯଥାକ୍ରମେ ନାମ ହେବ,

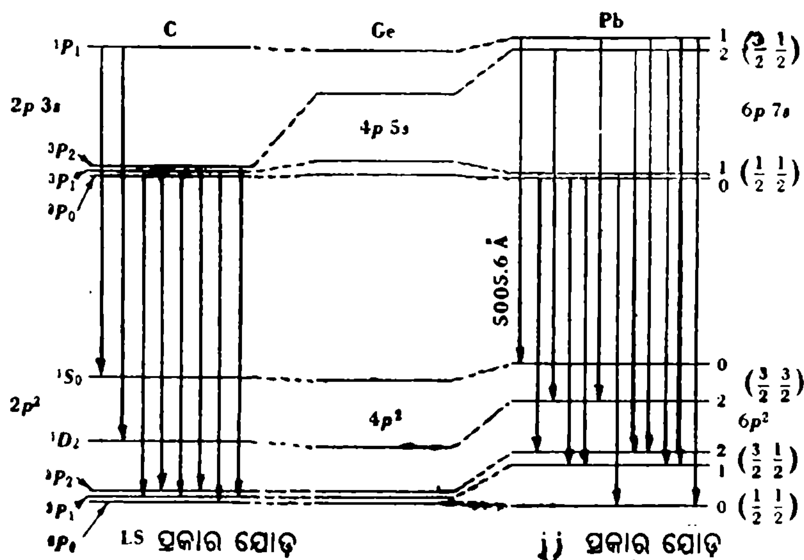
$$\begin{array}{cc} jj & LS \\ (n_1\, l_1, \cdots n_N\, l_N)\,(j_J \quad j_N)_3 & n_1\, l_1 \cdots n_N\, l_N\ {}^5D_3 \end{array}$$

ଅବଶିଷ୍ଟ ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଅଧିକ ବଳବାନ୍ ହେବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ, ତରଙ୍ଗଫଳନରେ ବିଭିନ୍ନ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ଫଳନ ଶୂନ୍ୟ-କୋଟୀର ଫଳନ ଗୁଡ଼ିକୁ ମିଶାଇ ଦେବାର ପ୍ରବୃତ୍ତି ସୃଷ୍ଟି କରେ, ସେତେବେଳେ ($n_1\ l_1\ j_1$) ସଂଖ୍ୟାଗୁଡ଼ିକୁ ଶକ୍ତିସ୍ତରମାନଙ୍କ ସହିତ ଯୋଡ଼ିବା କମ୍ ଦରକାରୀ ହୋଇଥାଏ ଏବଂ ସଂପୃକ୍ତ ବସ୍ତୁ ନିୟମ ଅକାମୀ ହେବାକୁ ଆରମ୍ଭ କରିଥାଏ । ଆଦର୍ଶ LS ଓ jj ପ୍ରକାରର ଯୋଡ଼ ମଧ୍ୟବର୍ତ୍ତୀ ସମସ୍ତ କୋଟୀର ଯୋଡ଼ ଦେଖାଦେଇଥାଏ । ତେବେ, ଯେପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ପରମାଣୁଟି ବାହ୍ୟ କ୍ଷେତ୍ରମାନଙ୍କଠାରୁ ମୁକ୍ତ ଥାଏ, କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା j ଓ m_j ଏବଂ ସେମାନଙ୍କର ବସ୍ତୁ ନିୟମ ସେପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ରହିଥାଏ ।

ଚିତ୍ର ୧୭.୮ରେ LSରୁ jj ଯୋଡ଼କୁ ପରିବର୍ତ୍ତନ ଗୋଟିଏ ଉଦାହରଣ ସାହାଯ୍ୟରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । କାର୍ବନ (Z = 6), ଜର୍ମାନିୟମ (Z = 32) ଓ ଲେଡ୍ (Z = Z82) ପାଇଁ କେତେକ ସ୍ତରର ଆପେକ୍ଷିକ ଅବସ୍ଥାନ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି ଓ ଅନୁରୂପ ସ୍ତରସବୁ ଖଣ୍ଡରେଖାଦ୍ୱାରା ଯୋଡ଼ା ହୋଇଅଛି । ସିଲିକନ୍‌ରେ (Z = 14) ଅନୁରୂପ ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକର ସେଟ୍ ବହୁ ପରିମାଣରେ କାର୍ବନ ପରି ସଜ୍ଜା ହୋଇଥିବାର ଦେଖାଯାଏ; ଏହିପରି ଟିନ୍ (Z = 50) ଲେଡ୍‌ର ଅନୁଗାମୀ । ପ୍ରତି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ପୂର୍ଣ୍ଣ ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷଗୁଡ଼ିକର ସଂଖ୍ୟା ଦୁଇ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ: କିନ୍ତୁ ସ୍ତରମାନଙ୍କର ଆପେକ୍ଷିକ ସଜ୍ଜା ବିଚାର କରିବାରେ ଏହି ତାରତମ୍ୟ ମୂଲ୍ୟହୀନ ।

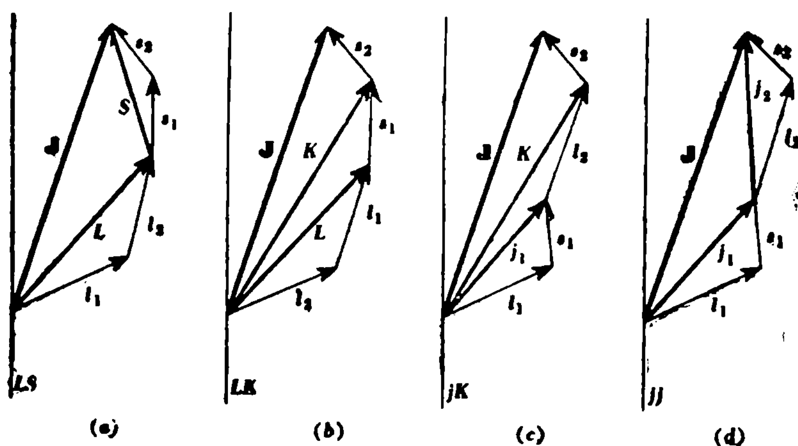
ଚିତ୍ର ୧୭.୮ରେ ଆମେ ଦେଖୁ ଯେ, ଦୌଣସି ସ୍ତରର J ମୂଲ୍ୟ ଉଚ୍ଚକୋଟିଯାକ କ୍ଷେତ୍ରମରେ ଏକା ରହିଥାଏ; କାର୍ବନରେ ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ସେମାନଙ୍କର ଶକ୍ତି ମୂଲ୍ୟମାନଙ୍କ

ଦ୍ୱାରା ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ଉର୍ଦ୍ଧ୍ୱ LS ବହୁଧାରମାନଙ୍କରେ ଦଳ ଦଳ ହୋଇଥାନ୍ତି, ଲେଡ଼୍‌ରେ ସେମାନେ jj ଦଳସବୁ ଗଢ଼ନ୍ତି, ଏଥିପାଇଁ J ମୂଲ୍ୟସବୁ ବନ୍ଧନୀମାନଙ୍କରେ ଦିଆଯାଇଅଛି । କାର୍ବନ ଓ ଲେଡ଼୍ ପାଇଁ ଶର ଚିହ୍ନିତ ସଂକ୍ରମଣଗୁଡ଼ିକ ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ବର୍ଣ୍ଣନାରୁ ସଂକ୍ରମଣ ବର୍ଜ୍ଜ ନିୟମ ଦ୍ୱାରା ଯେଉଁଗୁଡ଼ିଏ ସଂକ୍ରମଣ ଅନୁମତିକ, ସେସବୁ ଏଥିରେ ଦେଖା ଯାଇଅଛି । କେଉଁ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ଗୋଟିଏ ପ୍ରକାରର ଯୋଡ଼ରୁ ଜାତ ହୁଏ ଓ ଅନ୍ୟଯୋଡ଼ରୁ ହୁଏନାହିଁ, ତାହା ଲକ୍ଷ୍ୟ କଲେ ଛାତ୍ରମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଶିକ୍ଷଣୀୟ ହେବ ।



[ଚିତ୍ର ୧୨·୮ LSରୁ jj ଯୋଡ଼କୁ ସଂକ୍ରମଣ । ପ୍ରତ୍ୟେକ ପରମାନଙ୍କର ପ୍ରତ୍ୟେକ ବହୁଧାରରେ ବ୍ୟବଧାନ ସବୁ ସ୍କେଲ ଅନୁସାରେ ଟଣାଯାଇଅଛି, କେବଳ ^3P ବହୁଧାରରେ ବ୍ୟବଧାନକୁ ବଢ଼ାଇ ଦିଆଯାଇଛି, ତେବେ ପ୍ରତି ବହୁଧାର ପାଇଁ ଭିନ୍ନ ସ୍କେଲ ନିଆଯାଇଅଛି । କାର୍ବନ ପାଇଁ $2P^2$ ବହୁଧାରର ପଦଗୁଡ଼ିକ 90,878ରୁ 69231 cm^{-1} ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଏବଂ $2p3p$ଟି 30547ରୁ 28898 cm^{-1} ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ; ଲେଡ଼୍ ପାଇଁ $6p^2$ ପଦର 59821ରୁ 30365cm^{-1} ଏବଂ $6p7s$ଟି 24863ରୁ 10383 cm^{-1} ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ରହିଅଛି]

LS ଯୋଡ଼ରେ ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ ଓ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାସବୁ ପ୍ରଧାନ ଏବଂ jj ଯୋଡ଼ରେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-କକ୍ଷ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ପ୍ରଧାନ ହୋଇଥାଏ । LS ଯୋଡ଼ରୁ jj ଯୋଡ଼କୁ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହେବାବେଳେ ଦ୍ୱିଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଅବସ୍ଥାନ ସବୁ ଅନ୍ୟ ଯୋଡ଼ ଅକାରରେ ସୁବିଧାରେ ଅନେକ ସମୟରେ ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ସିଲିକନର $3p$ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ଗୋଟିଏ $4f$ ଅବସ୍ଥାକୁ ଉତ୍ତେଜିତ ହୋଇଥାଏ, ଦୁଇ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସବୁଠାରୁ ବହୁ ପରିମାଣରେ ଅ ।ମନ୍ତ୍ରସ୍ୱୀ ହୋଇଥାଏ, କାରଣ ଏହା ବର୍ତ୍ତମାନ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଭିନ୍ନ ଯୁଗ୍ମ-ବାଦଲ ପାରସ୍ପରିକ ଅବସ୍ଥା ମଧ୍ୟରେ ରହିଥାଏ । ଏହି କାରଣରୁ ଆମେ ଏହି ଏକାକାର କଣିକାମାନଙ୍କ ବିଷୟରେ କହିବାବେଳେ ସେଗୁଡ଼ିକୁ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ଭାବରେ ପ୍ରକାଶ କରି ଶିଖ କହିପାରିବା । ଏହି କ୍ଷେତ୍ରରେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କକ୍ଷ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା $L_1 S_1$ଟି $3p$ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନରେ l_1 l_2 ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାକୁ ବଳିଯାଏ । ପରେକ୍ଷିଟି s_1 s_2 ଓ $l_2 s_2$ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାମାନଙ୍କଠାରୁ ଅଧିକ ହୋଇଥାଏ । ଏହି ଘଟଣା ପାଇଁ ଆମେ କହିପାରିବା ଯେ, $l_1 \oplus s_1$ j_1; $j_1 \oplus l_2 = K$ ଏବଂ ଶେଷରେ $k \oplus s_2 = j$ (ଚିତ୍ର ୧୭.୯ଗ) । ଏସବୁ jk ଯୋଡ଼ ମିଳନ । ଏହା $\{[l_1\ s_1)\ j_1,\ l_2]\ k_1\ s_2\}\ j$ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୁଏ, ଠିକ୍ ଯେପରି LS ଯୋଡ଼ $[(l_1\ l_2)\ L, (s_1\ s_2)\ S]J$ ଦ୍ୱାରା ବା jj ଯୋଡ଼ $[(l_1\ s_1)\ j_1\ \ (l_2\ s_2) j_2]$ [



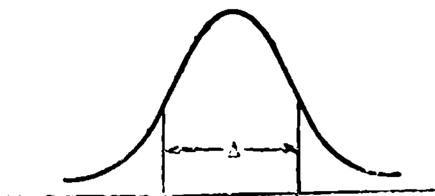
[ଚିତ୍ର ୧୭.୯]

ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ । Jk ସଙ୍କେତରେ ଗୋଟିଏ ପଦ-ପଦ ସଙ୍କେତରେ j_1 $[K]_J$ ଦ୍ୱାରା ଲେଖା ହୋଇଥାଏ; Si $3p$ $4f$ ଉଦାହରଣ ପାଇଁ LS ସଙ୍କେତରେ ପଦଟି $3p$ $4f$ $^1F_3$ ଆକାରରେ ଲେଖାଯିବା ପଦଟି jK ବର୍ଣ୍ଣନାରେ $\frac{1}{2}$ $[\frac{5}{2}]_3$ ହୋଇଥାଏ ।

ଯେତେବେଳେ l_1 l_2 ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା l_1 s_1 ଅପେକ୍ଷା ବଳବତ୍ତର ହୁଏ, ପଦଟି $l_1 \oplus l_2 = L$, $L \oplus s_1 = K$, $K \oplus s_2 = J$ (ଚିତ୍ର ୧୭.୧୪) ଦ୍ୱାରା ଉତ୍ପନ୍ନରୂପେ ବର୍ଣ୍ଣିତ ହୋଇ ପାରିବ । ଏହି ସ୍କିମ୍ $\{((l_1\ l_2)\ L,\ s_1]K,\ s_2\}J$ କୁ LK ଯୋଡ଼ କହନ୍ତି ଓ ସଙ୍କେତରେ ଏହା $L\ [K]_J$ ଆକାରରେ ଲେଖାଯାଇ ପାରିବ ।

17·12 ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ରେଖାମାନଙ୍କର ଚଉଡ଼ା :

ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରୋମିଟରର ବିଭାଜନ କ୍ଷମତା ଯେତେ ବେଶି ହେଉ ପଛକେ ଯେତେ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ରେଖା ଦେଖାଯାଉଛି, କୌଣସିଟି ଏକବାରେକ ତୀକ୍ଷ୍ଣ ନୁହେଁ । ଗୋଟିଏ ରେଖାରେ ଯଦି କୌଣସି ଗଠନ ନଥାଏ (ଏହା ଏକଧାର ବିଶିଷ୍ଟ ହୋଇଥାଏ) ତେବେ କେନ୍ଦ୍ରଠାରେ ଏହା ସର୍ବାଧିକ ସାନ୍ଦ୍ର ହୁଏ ଓ ଧାରଆଡ଼କୁ ଏହା କ୍ରମେ ମଳିନ ହୋଇଯାଏ । ଅର୍ଦ୍ଧ ତୀବ୍ରତାରେ ପୂର୍ଣ୍ଣ ଚଉଡ଼ା Δର ସଂଜ୍ଞା ହେଲା (ଚିତ୍ର ୧୭.୧୦) ସର୍ବାଧିକ ତୀବ୍ରତାଠାରୁ



[ଚିତ୍ର ୧୭.୧୦ ଗୋଟିଏ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ରେଖାର ଚଉଡ଼ା Δ]

ଗୋଟିଏ ପାଖରେ ଯେଉଁ ବିନ୍ଦୁରେ ତା'ର ଅର୍ଦ୍ଧେକ ତୀବ୍ରତା ହୁଏ, ସେଠାରୁ ଅପର ପାଖରେ ତା'ର ସଦୃଶବିନ୍ଦୁ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଦୂରତା । (ସୁବିଧା ଦୃଷ୍ଟିରୁ Δକୁ ଅନେକ ସମୟରେ

କେବଳ ଚଉଡ଼ା ବୋଲି କୁହାଯାଏ) । ରେଖାଗୁଡ଼ିକର ଚଉଡ଼ା ହେବାର ପ୍ରଧାନ କାରଣଗୁଡ଼ିକ ନିମ୍ନରେ ଦିଆଗଲା ।

(କ) ଡପ୍‌ଲର୍ ପ୍ରଭାବ : ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ରେଖାର ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ଆବୃତ୍ତି ବିକିରଣକାରୀ ପରମାଣୁର ଦୃଷ୍ଟିରେଖାରେ ଗତି ଦ୍ଵାରା ବଦଳି ଯାଇଥାଏ । ଡପଲର୍ ନିୟମ ଲାଗି ଏହା ଘଟିଥାଏ । ଯଦି ଗତି ଦେଖୁଥିବା ଦ୍ରଷ୍ଟାଙ୍କ ଆଡ଼କୁ ହୁଏ, ତେବେ ପ୍ରଗତ ହେଉଥିବା ଆବୃତ୍ତି ବଢ଼ିଯାଏ ଏବଂ ଯଦି ପରମାଣୁ ଦେଖଣାହାରୀଠାରୁ ଦୂରକୁ ଯାଉଥାଏ, ତେବେ କମି ଯାଇଥାଏ ।

ମର୍କରି ଆର୍କ ଲ୍ୟାମ୍ପରେ ମର୍କରି ବାଷ୍ପ ଭଳି ଅନେକବାନ୍ ଗ୍ୟାସରେ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ମାକ୍ସୱେଲୀୟ ବଣ୍ଟନାନୁସାରେ ଗତି କରୁଥାନ୍ତି । ତେଣୁ ଗୋଟିଏ ଗ୍ୟାସର ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମରେଖାରେ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ଆବୃତ୍ତି ରହିବ ଏବଂ ଏହି ଆବୃତ୍ତିଗୁଡ଼ିକ ସ୍ଥିର ଥିବା ପରମାଣୁରୁ ବିକିରିତ ହେଉଥିବା ଆବୃତ୍ତି ପାଖରେ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ଭାବରେ ବାଣ୍ଟି ହୋଇ ରହିଥିବ; ତାପମାତ୍ରା ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଏହି ପରିସର ମଧ୍ୟ ବଢ଼ିଯିବ । ଏହାହିଁ ପରୀକ୍ଷାରେ ଦେଖାଯାଏ । ସାରା ରେଖାରେ ତୀବ୍ରତାର ବଣ୍ଟନ ମାକ୍ସୱେଲଙ୍କର ଗତିବେଗର ବଣ୍ଟନ ନିୟମ ଅନୁସାରେ ହେବ । ରାଲେଙ୍କ ମତରେ, କେନ୍ଦ୍ରଠାରୁ $\lambda' - \lambda$ ଦୂରତାରେ ରେଖାର ତୀବ୍ରତା $e^{-b(\lambda' - \lambda)^2}$ କୁ ଅନୁପାତୀ ହେବ, ଏଠାରେ b ଗୋଟିଏ ଧ୍ରୁବ । ଏହା ପରମାଣୁର ବସ୍ତୁତ୍ଵ ଓ ତାପମାତ୍ରା ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ । ଏହି ସୂତ୍ର ଓ bର ମୂଲ୍ୟରୁ ଅର୍ଦ୍ଧରୁ ବର୍ଦ୍ଧିତ ଲବ୍‌ଧ କରାଯାଇଥିବା ଚଉଡ଼ା Δ ମିଳିଯିବ । ଯଦି ଏହା କେବଳ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣଭାବରେ ଡପ୍‌ଲର୍ ପ୍ରଭାବ ଲାଗି ହୋଇଥାଏ, ଏହା ହେବ

$$\Delta = 0{\cdot}72 \times 10^{-6} \lambda \sqrt{\frac{T}{M}} \quad \text{ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ଏକକ}$$

ଏଠାରେ T ହେଲା ପରମ ତାପମାତ୍ରା ଏବଂ M ହେଲା ବିକିରଣକାରୀ ପରମାଣୁ ବା ଅଣୁ ପାରମାଣବିକ ବା ଆଣବିକ ବସ୍ତୁତ୍ଵ ।

(ଖ) ଚାପ : ଗୋଟିଏ ବିଭାଜନ ନହୋଇଥିବା ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ରେଖା ବ୍ୟବହାର କରି ସୁବିଧାଜନକ ପରିସ୍ଥିତିରେ ଦୁଇ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ମଧ୍ୟରେ ପଥରେ ବହୁ ଶହ ହଜାର ତରଙ୍ଗ

ଦୈର୍ଘ୍ୟର ବ୍ୟବଧାନ ଥିବାବେଳେ ବ୍ୟାପକରଣ ବନ୍ୟାଶ ଘାଇବା ସମ୍ଭବ ହୋଇଅଛି । ପ୍ରଚଳନ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ, ଏହି ଘଟଣାରୁ ଜଣାଯାଏ ଯେ ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପରମାଣୁରୁ ବିକଶିତ ହେଉଥିବା ତରଙ୍ଗମାଳା ଅବଚ୍ଛିନ୍ନ ଅର୍ଥାତ୍ ଅନ୍ତତଃ ଏହି ସଙ୍ଖ୍ୟକ ଦୋଳନ ଯାଏଁ କଳାରେ କୌଣସି ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୋଇନଥାଏ । ପରମାଣୁଟି ଏହି ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ତରଙ୍ଗମାଳା ବିକରଣ କରିବାପାଇଁ ଏତକ ସମୟ ପାଇଁ ଏହା "କୌଣସି ବାଧା ନପାଇବା" ଦରକାର । ଏଥିରୁ ଜଣାଯାଉଛି ଯେ, ଅନ୍ୟ ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ସଙ୍ଗେ ଏହାର ଆଘାତର "ଗଡ଼ ମୁକ୍ତ ସମୟ" ଏହି ତରଙ୍ଗମାଳା ବିକରଣ କରିବାର ସମୟ ଅପେକ୍ଷା ହାରାହାରି ଭାବରେ ଅଧିକ ହେବା ଦରକାର । କାରଣ ଗୋଟିଏ ଆଘାତଦ୍ୱାରା କଳାରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହେବ ବା ଅତ୍ୟଧିକ ମନ୍ଦନ ହେବ ବୋଲି ଅନୁମାନ କରାଯାଇପାରେ । ତରଙ୍ଗ ଯାନ୍ତ୍ରିକରୁ ଏହିପରି ସିଦ୍ଧାନ୍ତ ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ ହୋଇଥାଏ ।

କୌଣସି ଦତ୍ତ ତାପମାତ୍ରାରେ ଚାପ ବଢ଼ି ବଢ଼ିଗଲେ ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଅଧିକରୁ ଅଧିକବାର ଆଘାତ ଘଟିଥାଏ । ଚାପ ଅଧିକ ହେଲେ ତରଙ୍ଗମାଳା କ୍ଷୁଦ୍ରତର ହୋଇଥାଏ ଓ କଳାରେ ହଠାତ୍ ପରିବର୍ତ୍ତନ ଅଧିକବାର ଘଟିଥାଏ । କୌଣସି ଦତ୍ତ ସାନ୍ଦ୍ରତାରେ, ତାପମାତ୍ରାରେ ବୃଦ୍ଧି, ଆଘାତର ହାର ଓ ଚାପ, ଉଭୟଙ୍କୁ ବଢ଼ାଇଥାଏ । ତେଣୁ ସାଧାରଣ ଭାବରେ, ଅଧିକ ଗ୍ୟାସ ଚାପରେ ଆଘାତ ଫଳରେ କଳା ପରିବର୍ତ୍ତନର ହାର ବୃଦ୍ଧିଜନିତ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେଖାର ଚଉଡ଼ାରେ ବୃଦ୍ଧି ଘଟିଥାଏ । ମାଇକେଲ୍‌ସନ୍ ଏହି ସିଦ୍ଧାନ୍ତକୁ ଦୃଢ଼ କରିଥିଲେ । ସେ ଇଣ୍ଟରଫେରୋମିଟର ପରୀକ୍ଷାରୁ ଦେଖାଇଥିଲେ ଯେ, ଏକମିଲିମିଟର ପୋଟିର ଚାପରୁ କମ୍ ଚାପ ଥିଲେ, ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ରେଖା $\lambda = 656{\cdot}3A^{\circ}$ର ଚଉଡ଼ା ସଂପୂର୍ଣ୍ଣ ଭାବରେ ଡପ୍‌ଲର୍ ପ୍ରଭାବ ଲାଗି ହୋଇଥାଏ; କିନ୍ତୁ ଅଧିକ ଚାପମାନଙ୍କରେ ଏହି ରେଖା ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ଭାବରେ ଚଉଡ଼ା ହୋଇ ଯାଇଥାଏ ।

ଶକ୍ତିସ୍ତରଗୁଡ଼ିକରେ ସିଧାସଳଖ ଭାବରେ ବା ବିକରଣ ପ୍ରଣାଳୀରେ ବାଧା ଉପୁଜିବାଦ୍ୱାରା ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ଚଉଡ଼ା ଆହୁରି ବଢ଼ିଯାଏ । ଯେତେବେଳେ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ଅଣୁ ବିକରଣକାରୀ ପରମାଣୁର ଅତି ନିକଟକୁ ଆସିଯାଏ, ସେତେବେଳେ ଏପରି ଘଟିଥାଏ ।

(ଗ) ରେଖାର ପ୍ରାକୃତିକ ଚଉଡ଼ା : ତରଙ୍ଗ ଯାନ୍ତ୍ରିକ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ, ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁ ଏପରି କି ସ୍ଥିର ଥିଲାବେଳେ ମଧ୍ୟ "ପ୍ରାକୃତିକ" ଭାବରେ ସାମାନ୍ୟ ଚଉଡ଼ା ହୋଇଯିବ । ଗୋଟିଏ ଉପମା ନେଲେ, ଗୋଟିଏ ପୁରାତନ ଦୋଳକର ବିକିରଣ ଶକ୍ତି ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ଭାବରେ ବିସ୍ତାରରେ କମି କମିଯିବ; ତେଣୁ ଏହା ଗୋଟିଏ ମନ୍ଦିତ ତରଙ୍ଗମାଳା ବିକିରଣ କରିବ ଓ ଏହି ତରଙ୍ଗମାଳାର କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ସସୀମ ରହିବ । ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇପାରିବ ଯେ, ଗୋଟିଏ ମନ୍ଦିତ ସାଇନ ତରଙ୍ଗମାଳା ବହୁ ସଂଖ୍ୟକ ଅଖଣ୍ଡ ଅମନ୍ଦିତ ତରଙ୍ଗମାଳା ସାମାନ୍ୟ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ଆବୃତ୍ତିରେ ଥାଇ ପରସ୍ପର ଉପରିସ୍ଥାପନଦ୍ୱାରା ସୃଷ୍ଟି ହୋଇପାରିବ । ତେଣୁ ଏଭଳି ବିକିରଣ ଗୋଟିଏ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ରେଖାରେ ଦେଖାଗଲେ ସାମାନ୍ୟ ପରିମାଣରେ ଚଉଡ଼ା ଭାବରେ ଦେଖାଯିବ । ଦୃଶ୍ୟମାନ ପରିସରରେ ରେଖାର ପ୍ରାକୃତିକ ଚଉଡ଼ା ବହୁ କ୍ଷେତ୍ରରେ 0·001A°ରୁ ଅନେକ କମ୍, ତେଣୁ ଏହା ବାରି ହୁଏନାହିଁ । ଅନ୍ୟ ପକ୍ଷରେ ଏହା ଏକ୍ସରେ ପରିସର ମଧ୍ୟରେ ସହଜରେ ଜଣା ପଡ଼ୁଥାଏ ।

ରେଖାର ପ୍ରାକୃତିକ ଚଉଡ଼ା ପାରମାଣବିକ ଶକ୍ତିସ୍ତରର ଅନିଶ୍ଚିତତା ସହିତ ସମ୍ପୃକ୍ତ । ଶକ୍ତିରେ ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମ ପରୀକ୍ଷାର ପରିସର ମଧ୍ୟରେ ସର୍ବଦା ସତ୍ୟ ହୋଇଥାଏ; କିନ୍ତୁ ଶକ୍ତିର ପରିମାପ ସମୟସାପେକ୍ଷ ଏବଂ ସେହି କାରଣରୁ ପରିମାପରେ ସୂକ୍ଷ୍ମତା ସୀମିତ ହୋଇଯାଏ । ଯଦି ପରିମାପ ପାଇଁ ବା ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ସ୍ଥିର କରିବା ପାଇଁ Δt ସମୟ ଲାଗେ ଏବଂ ଯଦି ଶକ୍ତିରେ ଅନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟତା ପରିମାଣ ΔE ହୁଏ, ଅନିଶ୍ଚିତତା ନିୟମ ଅନୁସାରେ,

$$\Delta E \Delta t \lesssim \frac{\hbar}{2}$$

କୌଣସି ପାରମାଣବିକ ବା ଆଣବିକ ଶକ୍ତିସ୍ତର ପାଇଁ ଆମେ $\Delta t = T$ ନେବା, ଏଠାରେ T ହେଲା ସ୍ତରର ଗଡ଼ଜୀବନ, (ବିକିରଣ ପ୍ରଣାଳୀରେ ବା ଅପର ପ୍ରଣାଳୀ ପରି ଅନ୍ୟ କୌଣସି ପ୍ରଣାଳୀରେ ଏ ଜୀବନର ଅବସାନ ଘଟିଲେ ମଧ୍ୟ) । ତେଣୁ

$$\Delta E \approx \frac{\hbar}{T}$$

ΔE ରାଶିଟି ବେଳେବେଳେ ସ୍ତରର ପ୍ରାକୃତିକ ଚଉଡ଼ା ଭାବରେ ପରିଚିତ ହୁଏ ।

ସାଧାରଣ ଅବସ୍ଥା ପାଇଁ $T=\infty$ ଓ $\Delta E=0$ । ଏହି ସାଧାରଣ ଅବସ୍ଥାକୁ ବା ଏହି ଅବସ୍ଥାରୁ ସଂକ୍ରମଣ ପାଇଁ ତଜ୍ଜନିତ ରେଖାର ପ୍ରାକୃତିକ ଚଉଡ଼ା ହେବ,

$$\Delta\nu=\frac{\Delta E}{h}\simeq\frac{1}{2\pi T}$$

ଏଠାରେ T ସଂକ୍ରମଣରେ ଅଂଶ ଗ୍ରହଣ କରୁଥିବା ଅନ୍ୟ ଅବସ୍ଥା ପାଇଁ । ତେଣୁ $\Delta=\Delta\lambda=\Delta(c/\nu)\simeq\frac{\lambda^2}{2\pi cT}$ । ସାଧାରଣ ଭାବରେ, ଯଦି T_1 ଓ T_2 ଦୁଇ ସ୍ତରକୁ ଯଥାକ୍ରମେ ବୁଝାଉଥାଏ,

$$\Delta\simeq\frac{\lambda^2}{2\pi c}\left(\frac{1}{T_1}+\frac{1}{T_2}\right)$$

$\nu=(E_1-E_2)/h$ ସୂଚିତ ରେଖାର ମଧ୍ୟସ୍ଥଳ (କେନ୍ଦ୍ର) ପାଇଁ ।

(ଘ) ପ୍ରାରମ୍ଭିକ ଷ୍ଟାର୍କ ପ୍ରଭାବ :

ବହିର୍ଜନ ବିନ୍ଦୁମାନଙ୍କରୁ ନିଷ୍କାସିତ ବିକିରଣରେ ଦେଖାଯାଇଥିବା ବିଦ୍ୟୁତକ୍ଷେତ୍ର ଦ୍ୱାରା ହେଉଥିବା ସାମାନ୍ୟ ଷ୍ଟାର୍କ ପ୍ରଭାବରେ ସାଧାରଣତଃ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ରେଖାସବୁ ଚଉଡ଼ା ହୋଇ ଥାଏ । ଏହି ଷ୍ଟାର୍କ ପ୍ରଭାବର ଫଳ ରେଖାଟିକୁ ଭଙ୍ଗିଦେବା ଯଥେଷ୍ଟ ହୁଏନାହିଁ, ମାତ୍ର ଏହାର ଅଭାବରେ ରେଖାର ଚଉଡ଼ା ଯେତିକି ହୋଇଥାନ୍ତା, ତା ତୁଳନାରେ ମାପି ହେବା ଅର ଯଥେଷ୍ଟ ପରିମାଣରେ ବଢ଼ାଇ ଦେଇଥାଏ ।

ପ୍ରଶ୍ନାବଳୀ

୧ । L ଓ Sର ନିମ୍ନଲିଖିତ ମୂଲ୍ୟମାନଙ୍କରୁ ମିଳୁଥିବା ($^{2S+1}L_J$) ନାମରେ ପରିଚିତ ସମସ୍ତ ପଦର ତାଲିକା କର : (କ) $L=2,\ S=\frac{1}{2}$ (ଖ) $L=4,\ S=1$ (ଗ) $L=3,\ S=\frac{5}{2}$ (ଘ) $L=0, S=2$ (ଙ) $L=1, S=\frac{3}{2}$ ।

୨ । ନିମ୍ନଲିଖିତ ଅସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ନାମ ସୂଚାଉଥିବା ପଦଗୁଡ଼ିକ ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ Jର ସମ୍ଭାବ୍ୟ ମୂଲ୍ୟଗୁଡ଼ିକ ଦିଅ : $^1P, ^2D, ^1D, ^3S, ^3P, ^4P, ^6H, ^5P$ । କେଉଁ ପରିସ୍ଥିତିରେ jର ସମ୍ଭାବ୍ୟ ମୂଲ୍ୟଗୁଡ଼ିକର ସଂଖ୍ୟା ରେଖାର ବହୁଳତା ସଂଖ୍ୟାଠାରୁ କମ୍ ହେବ ? ଉପରର ପ୍ରତ୍ୟେକ ପଦ ପାଇଁ ଏହା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ଯୁଗ୍ମ ବା ଅଯୁଗ୍ମ କେଉଁ ସଂହତିରୁ ଜାତ ସୂଚାଅ ।

୩ । ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥା 3s $^2S_{\frac{1}{2}}$ରେ ସୋଡ଼ିୟମ ପରମାଣୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ସହ 3.5eV ଶକ୍ତିରେ ବାଝ ହୋଇଥାଏ । ଯେତେଗୁଡ଼ିଏ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ରେଖା ଉତ୍ତେଜିତ ହୋଇପାରେ ଚିତ୍ର ୧୭.୨ର ଶକ୍ତି ସାହାଯ୍ୟରେ ସେଗୁଡ଼ିକର ତାଲିକା କର । (3.5eV ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା କୌଣସି ଉତ୍ତେଜିତ ପରମାଣୁ ଆଘାତ ପାଇ ନାହିଁ ବୋଲି ଅନୁମାନ କର) ।

୪ । $^2D\leftarrow{}^2F$ ଓ $^2F\leftarrow{}^2G$ ସଂକ୍ରମଣରୁ ଜାତ ଯୌଗିକ ଦ୍ୱିଧାବିମାନଙ୍କର ରେଖାଗୁଡ଼ିକର ଆପେକ୍ଷିକ ତୀବ୍ରତା ହିସାବ କର ।

୫ । ଗୋଟିଏ ସୋଡ଼ିୟମ ସଂଯୋଜକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଏହାର "କକ୍ଷୀୟ" ଗତି ଫଳରେ ଯେଉଁ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ଚୁମ୍ବକୀୟ ପ୍ରେରଣ ଅନୁଭବ କରିବ, ତାହା ସୋଡ଼ିୟମର D ରେଖାରୁ ହିସାବ କର ।

ଉତ୍ତର : 20 Wb/m^2

୬ । ସୋଡ଼ିୟମ D ରେଖାମାନଙ୍କର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟରୁ $3p$ ଅବସ୍ଥା ପାଇଁ ସମୀକରଣ (୧୭.୭)ରେ Z_{eff} $(=Z-\sigma_{o})$ ହିସାବ କର ।

ଉତ୍ତର : 3.55.

୭ । ଟେବୁଲ ୧୭.୧ରେ ଥିବା ବ୍ୟବଧାନ ଓ ସମୀକରଣ (୧୭.୭)କୁ ବ୍ୟବହାର କରି $4p$, $5p$ ଓ $6p$ ସ୍ତରମାନଙ୍କର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-କକ୍ଷ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ପାଇଁ ଆବରଣ ଧ୍ରୁବ ହିସାବ କର । ପୂର୍ବ ପ୍ରଶ୍ନରୁ $3p$ ମୂଲ୍ୟ (7.45) ସହିତ ଏହା ତୁଳନା କର । n, l ଅବସ୍ଥାର $E=Rhc\,(Z-\sigma)^2/n^2$ରୁ ମିଳୁଥିବା ଶକ୍ତିରୁ ଯେଉଁ ଆବରଣ ଧ୍ରୁବ ମିଳେ, ତାହା କପରି ଭାବରେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-କକ୍ଷୀୟ ପ୍ରଭାବରୁ ମିଳୁଥିବା ଆବରଣ ଧ୍ରୁବ ସହିତ ତୁଳନୀୟ ହେବ ?

୮ । ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁର ଭୂମ୍ୟବସ୍ଥାକୁ ସଂକ୍ରମଣରୁ ଜାତ ଗୋଟିଏ ରେଖାର ଚଉଡ଼ା Δ ହେଲା $0.5\ cm^{-1}$ । ଯଦି ଏହି ଚଉଡ଼ା ପ୍ରାୟ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଭାବରେ ଆରମ୍ଭ ଅବସ୍ଥାର ଚଉଡ଼ା ଲାଗି ହୋଇଥାଏ, ଏହି ଅବସ୍ଥାର ଅସନ୍ନ ଜୀବନକାଳ ହିସାବ କର ।

୯ । $_{14}Si$ ପାଇଁ ଭୂମ୍ୟବସ୍ଥାର ସଜ୍ଜା ଲେଖ । ଭୂମ୍ୟବସ୍ଥା କ'ଣ ? LS ଯୋଡ଼ କଳ୍ପନା କରି ଏହି ସଜ୍ଜାରୁ ଜାତ ସମସ୍ତ ଶକ୍ତିସ୍ତରକୁ ତାଲିକା କର । ଶକ୍ତିର କ୍ରମବର୍ଦ୍ଧମାନ ମୂଲ୍ୟ ଅନୁସାରେ ଏଗୁଡ଼ିକ ସଜାଅ ।

୧୦ । $_7N$ ପାଇଁ ଭୂମିର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସଜ୍ଜା ଲେଖ, ଭୂମ୍ୟବସ୍ଥା ନିରୂପଣ କର ଏବଂ ଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସଜ୍ଜାରୁ ଯେତେଗୁଡ଼ିଏ ଶକ୍ତି ସ୍ତର ବାହାରିପାରେ ଶକ୍ତିର କ୍ରମବର୍ଦ୍ଧମାନ ପରିମାଣ ଅନୁସାରେ ସେଗୁଡ଼ିକୁ ତାଲିକା କର (ଟେବୁଲ ୧୭.୪ର ସାହାଯ୍ୟ ନିଅ) ।

୧୧ । $_{22}Ti$, $_{23}V$, $_{27}Co$ ଓ $_{28}Ni$ ପାଇଁ ଭୂମ୍ୟବସ୍ଥା ସଜ୍ଜା ଲେଖ ଏବଂ ଭୂମ୍ୟବସ୍ଥା ପଦ ସ୍ଥିର କର । ଦିଆ ଅଛି ଯେ ପ୍ରତ୍ୟେକ କ୍ଷେତ୍ରରେ $4s$ ସ୍ତରରେ 2ଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଅଛି ।

୮ । 1 : 2 : 3 : 4 ଅନୁପାତର ବ୍ୟବଧାନରେ ଗୋଟିଏ ସ୍ତର ବହୁଧାର ମିଳନ୍ତି । L ଓ Sର ସମ୍ଭାବ୍ୟ ମୂଲ୍ୟ କ'ଣ ? 3 . 5 : 7 ଓ 3 : 5 ବ୍ୟବଧାନ ପାଇଁ ସେହି ହିସାବ କର । ଆଂଶିକ ଉତ୍ତର ^5D ।

୧୩ । ୧୬·୨ ପରି ଗୋଟିଏ ଚିତ୍ରରେ LS ଯୋଡ଼ରୁ ଜନ୍ମ ସଜ୍ଜା ପାଇଁ ଜାତ ସମସ୍ତ ସ୍ତରର ଆପେକ୍ଷିକ ଅବସ୍ଥାନ ଦେଖାଅ । (କ) $3p\ 4p$ (ଖ) $4p\ 4f$ ଓ (ଗ) $2p^5 3s$ ।

୧୪ । ୧୬·୩ ପରି ଗୋଟିଏ ଚିତ୍ରରେ ^3D ଓ ^3P ସ୍ତରମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଅନୁମତ ଛଅଟିଯାକ ସଂକ୍ରମଣ ସୂଚାଅ । ରେଖାମାନଙ୍କର ଆପେକ୍ଷିକ ତୀବ୍ରତା ହିସାବ କର, ଧରି ନିଅ ଯେ $^3P_2 \leftarrow {}^3D_3$ ରେଖାର ତୀବ୍ରତା $^3P_2 \leftarrow {}^3D_1$ ରେଖାର ତୀବ୍ରତାର 84ଗୁଣ ।

ଉତ୍ତର : 84, 15, 1, 45, 15, 20.

୧୫ । ସମୀକରଣ (୧୬·୧୦)ରେ ଧ୍ରୁବ B ଯଦି ^3P ସ୍ତର ବହୁଧାର ପାଇଁ ^3D ପାଇଁ ଏହାର ମୂଲ୍ୟର 5ଗୁଣ ହୁଏ, ଉପରୋକ୍ତ ପ୍ରଶ୍ନରେ (ପ୍ରଶ୍ନ ୧୪) ଦିଆଥିବା ୬ଟି ରେଖାର ଆପେକ୍ଷିକ ଅବସ୍ଥିତି ଚିତ୍ର ୧୬·୩ର ନମୁନା ପରି ଗୋଟିଏ ଚିତ୍ରରେ ଦେଖାଅ ।

୧୬ । (କ) ଗୋଟିଏ P^3 ସଜ୍ଜା ଓ (ଖ) ଗୋଟିଏ P^4 ସଜ୍ଜା ପାଇଁ ସମ୍ଭାବ୍ୟ ପଦସବୁ ଦେଖାଅ ।

୧୭ । ଗୋଟିଏ d^3 ସଜ୍ଜା ପାଇଁ ସମ୍ଭାବ୍ୟ ପଦସବୁ ଦେଖାଅ ।

ଅଷ୍ଟାଦଶ ଅଧ୍ୟାୟ

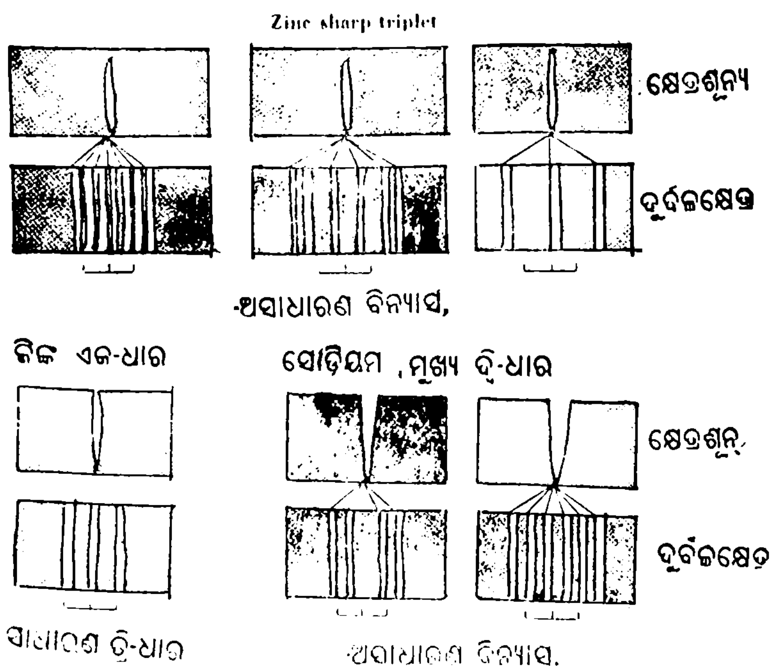
ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ପରମାଣୁ

ପୂର୍ବ ଅଧ୍ୟାୟମାନଙ୍କରେ ପ୍ରମାଣ ନକରି ଆମେ କହିଛୁ ଯେ, ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ମଣ୍ଡଳର କୌଣିକ ସଂବେଗ ଏପରି ଭାବରେ କ୍ୱାଣ୍ଟିକୃତ ହୋଇଥାଏ ଯେ, ଯେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ ଉପଯୁକ୍ତ କ୍ଷେତ୍ର ପ୍ରୟୋଗ କରି z ଦିଗଟି ସ୍ଥିର କରି ଦିଆଯାଏ, ସେତେବେଳେ କୌଣିକ ସଂବେଗର z ସଂଯୋଜକ କେବଳ $\hbar$ର (ପୂର୍ଣ୍ଣ ସଂଖ୍ୟକ) ଗୁଣିତକ ଭାବରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇପାରିବ । ଆହୁ ମଧ୍ୟ ଆମେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ, କକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗ ଏବଂ ଅନୁରୂପ ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ମଧ୍ୟରେ ସମ୍ପର୍କ ସ୍ଥାପନ କରୁଅଛୁ । ବର୍ତ୍ତମାନ ଅଧ୍ୟାୟରେ ଆମେ ଜିମାନ୍ ପ୍ରଭାବ ଓ ତତ୍‌ସମ୍ପର୍କୀୟ ଘଟଣାସବୁ ବିଚାର କରିବା । ପରମାଣୁର ଭେକ୍ଟର ମଡେଲ୍ ଅନୁମାନ କରିବାପାଇଁ ଏହା ଅନେକ ଉପାୟ ଦେବ ।

18·1 ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁ ଉପରେ ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ରର ପ୍ରଭାବ :

ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁର ନ୍ୟୂନତମ ଅବସ୍ଥାସବୁ ପରମାଣୁଟିର ବାହ୍ୟ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ବା ଚୁମ୍ବକୀୟ କ୍ଷେତ୍ରଦ୍ୱାରା ପ୍ରଭାବିତ ହେଲେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇଯାଏ । ସେହି ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ପୂର୍ବରୁ ଅପବିକଶିତ ହୋଇଥାଏ । ଅର୍ଥାତ୍ ଏକା ଶକ୍ତି ସହିତ ସମ୍ପୃକ୍ତ ହୋଇଥାଏ, ସେଗୁଡ଼ିକ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ହୋଇଯାଇପାରେ ଏବଂ ଏହି ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ମଧ୍ୟରେ ସଂକ୍ରମଣ

ଫଳରେ ମିଳୁଥିବା ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ରେଖାସବୁ ଅନେକ ସଂଯୋଜକରେ ବିଭକ୍ତ ହୋଇଯାଇ ପାରେ । ଜିମାନ ପ୍ରଭାବ ଗୋଟିଏ ପ୍ରଧାନ ପ୍ରକୃଷ୍ଟ ଘଟଣା । ଏହା ଅନୁ: ୭.୩ରେ ପୁରାତନ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ବର୍ଣ୍ଣନା କରାଯାଇଅଛି । ଜିମାନ୍ ପ୍ରଭାବରେ ମିଳିଥିବା କେତେକ ବିନ୍ୟାସ ଚିତ୍ର ୮.୧ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି; କେବଳ ସାଧାରଣ ଜିମାନ୍ ବିନ୍ୟାସ (ଉପରେ ବାମପଟେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି) ପୁରାତନ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ବୁଝିହୁଏ । ଅନ୍ୟଗୁଡ଼ିକୁ ଅସାଧାରଣ ବିନ୍ୟାସ କୁହାଯାଏ । ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ବିଷୟରେ ନଜାଣିବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଏହି ଅସାଧାରଣ ବିନ୍ୟାସକୁ ବୁଝି ହେଉନଥିଲା । ଯଦିଓ ସାଧାରଣ ତ୍ରିଧାରର ସଂଯୋଜକଙ୍କ ପାଇଁ ପୁରାତନ ତତ୍ତ୍ୱ ସଠିକ୍ ବ୍ୟବଧାନ ଦେଇ ପାରୁଥିଲା, ପୂର୍ବ ଅଧ୍ୟାୟମାନଙ୍କରେ ବ୍ୟବହୃତ ପରମାଣୁର ଭେକ୍ଟର ମଡ଼େଲ ସହିତ ଏହାର ବିଶେଷ ସମ୍ପର୍କ ନଥିଲା ।



[ଚିତ୍ର ୮.୧ ଗୋଟିଏ ଦୁର୍ବଳ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରରେ B ପ୍ରତି ଅଭିଲମ୍ବ ଦେଖାଯାଉଥିବା କେତେକ ଜିମାନ୍ ବିନ୍ୟାସର ଫଟୋଗ୍ରାଫ୍ । ସେହି କ୍ଷେତ୍ରରେ ଗୋଟିଏ ସାଧାରଣ ତ୍ରିଧାରର ଅବସ୍ଥିତି ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି]

ଚୁମ୍ବକୀୟ କ୍ଷେତ୍ରମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଶକ୍ତିସ୍ତରମାନଙ୍କରେ ଉତ୍ପନ୍ନ ବିଭାଜନ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ମଣ୍ଡଳର ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ସହିତ କ୍ଷେତ୍ରର ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଫଳରେ ଜାତ ହୋଇଥାଏ । ଏହି ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ସ୍ୱର୍ଜ କଣିକାଗୁଡ଼ିକର କକ୍ଷୀୟ ଗତିରୁ ଓ ଘୂର୍ଣ୍ଣନରୁ ସୃଷ୍ଟି ହୋଇପାରେ । ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ **M** ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ଛଡ଼ଚୁମ୍ବକ, **B** ଦିଗରେ ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରରେ $\mathbf{M} \times \mathbf{B}$ ଟର୍କ ଅନୁଭବ କରିଥାଏ । **B**ର ଦିଗ z ଦିଗ ହେଉ । **M** ଓ **B** ଦୁହେଁ ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ଥିବାବେଳେ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତିକୁ ଯଦି ଶୂନ୍ୟ ବୋଲି ନିଆଯାଏ, ଚୁମ୍ବକୀୟ ଦ୍ୱିମେରୁର ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ହେଲା । $\mathbf{M} \cdot \mathbf{B}$ । ଯେତେପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ କ୍ଷେତ୍ର ଅତ୍ୟନ୍ତ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ନହେବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ, μ_α ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁର ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି $-\vec{\mu}_\alpha \cdot \vec{B}$ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହେବ । ଯଦି କୌଣସି କ୍ଷେତ୍ର ବ୍ୟବହୃତ ନହୋଇଥିବାବେଳେ E_0 କୌଣସି ପାରମାଣିକ ସ୍ତରର ଶକ୍ତି ବୁଝାଏ, ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ପ୍ରୟୋଗ କଲେ ସ୍ତରର $(2j+1)$ ଉପସ୍ତରର ଅପବର୍ଜନ ଲୋପ ପାଇଥାଏ ଏବଂ m_jର ପ୍ରତି ମୂଲ୍ୟ ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ ଶକ୍ତି ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ହୋଇଥାଏ । ଅର୍ଥାତ୍ ପରମାଣୁର ଶକ୍ତିକୁ ଲେଖାଯାଇ ପାରିବ,

$$E = E_0 - \vec{\mu}_a \cdot \vec{B} = E_0 - \mu_z B \qquad (୧୮.୧)$$

ଏଠାରେ μ_z ହେଲା $\vec{\mu}_a$ ଚୁମ୍ବକ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣର z ସଂଘଟକ ।

18·2 ସାଧାରଣ ଜିମାନ ପ୍ରଭାବ :

ପ୍ରତ୍ୟେକ ଏକଧାରା ଅବସ୍ଥା ପାଇଁ $S=0$ । ତେଣୁ ଏଥିରେ କୌଣସି ପରିଣାମୀ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କୌଣିକ ସଂବେଗ ନଥାଏ ଏବଂ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ କୌଣସି ପରିଣାମୀ ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ନଥାଏ । ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ମଣ୍ଡଳର ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ କକ୍ଷୀୟ ଗତି ଲାଗି ହୋଇଥାଏ ଏବଂ ଏହାର କ୍ୱାଣ୍ଟମ-ଯାନ୍ତ୍ରିକ ମୂଲ୍ୟ ହେଲା

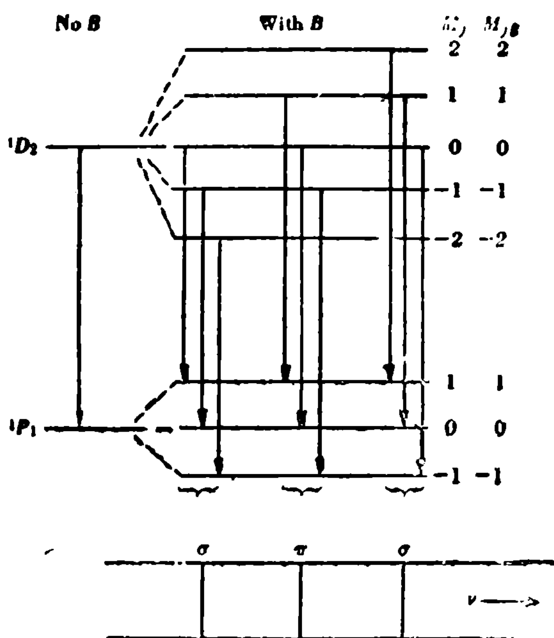
$$\mu_L = -\frac{e}{2m}\vec{A}_L = -\frac{e}{2m}\vec{A}_J \qquad (୧୮.୨)$$

ଏହା ପ୍ରତ୍ୟେକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ସମୀକରଣ (୯'୧୬) ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ଅବଦାନ ଗୁଡ଼ିକ ସିଧାସଳଖ ଯୋଗ କରିଦେଲେ ଏବଂ ତାପରେ $S=0$ ହୋଇଥିବାରୁ $L=J$ ଓ $\vec{A}_L=\vec{A}_J$ କୁ ବ୍ୟବହାର କଲେ ମିଳିଥାଏ । ଯେହେତୁ $(A)_z$ ର ଅନୁମିତ ମୂଲ୍ୟଗୁଡ଼ିକ $m_l\hbar$, ଆମେ ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଏକଧାର ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ ପାଇଥାଉ ଯେ, ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣର z ସଂଯୋଜକ $-\left(\frac{e}{2m}\right)M_J\hbar$ କୁ ଗୋଟିଏ ମୂଲ୍ୟ ହେବ । ଫଳରେ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ନଥିବାବେଳେ ପ୍ରାଥମିକ ଶକ୍ତି E_0 ର ଏକଧାର ସ୍ତର, ବ୍ୟବହୃତ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର B ଦ୍ୱାରା $2j+1$ ସଂଖ୍ୟକ ସମୂହର ଚୁମ୍ବକୀୟ, ଅବସ୍ଥା ଭାଙ୍ଗିଯାଇଥାଏ । ଏଗୁଡ଼ିକ

$$E=E_0+\frac{e\hbar}{2m}BM_J=E_0+\mu_B m_J \qquad (୧୮'୩)$$

ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ । ଏଠାରେ $\mu_B\left(=\frac{e\hbar}{2m}\right)$ ହେଉଛି ବୋର୍ ମାଗ୍ନେଟନ ।

$^1D_2$ ଓ $^1P_1$ ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକର ବିଭାଜନ ଚିତ୍ର ୧୮'୨ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଏଥିରେ ପଡ଼ୋଶୀ ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଶକ୍ତି ବ୍ୟବଧାନ ହେଉଛି $(e\hbar/2m)B$ । ଯେଉଁ ଚୁମ୍ବକୀୟ ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସଂକ୍ରମଣରେ $\Delta m_l=0,\ \pm1$ ସର୍ତ୍ତ ପୂରଣ ହୁଏ, ସେହି ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସଂକ୍ରମଣ ହୋଇଥାଏ । ଚିତ୍ର ୧୮'୨ରେ ନଅଗୋଟି ସଂକ୍ରମଣ ହୋଇଅଛି । ଯେଉଁମାନଙ୍କ ପାଇଁ $\Delta m_l=0$; କିନ୍ତୁ ତିନୋଟିଯାକ ଏକା ଛନ୍ଦନ ν_0 ଦେଇଥାନ୍ତି । ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ର ନଥିବାବେଳେ $^1P_1\leftarrow{}^1D_2$ ସଂକ୍ରମଣରୁ ସେହି ଛନ୍ଦନ ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଥାଏ । ସେହିପରି, ତିନୋଟି $\Delta M_l=+1$ ସଂକ୍ରମଣ $\nu_0-eB/4\pi m$ ଛନ୍ଦନବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ରେଖା ଦେଇଥାଏ; କିନ୍ତୁ $\Delta m_l=-1$ ସଂକ୍ରମଣଗୁଡ଼ିକ $\nu_0+\frac{eB}{4\pi m}$ ଛନ୍ଦନ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ରେଖା ଦେଇଥାନ୍ତି । ଏଗୁଡ଼ିକ ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ଛନ୍ଦନ । ଲରେଞ୍ଜ ଓ ଜିମାନ ଏଗୁଡ଼ିକ ଅଗରୁ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ପାଇଥିଲେ (ସମୀକରଣ ୬'୩) ଏଠାରେ ଗୋଟିଏ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଭିନ୍ନ ମଡେଲ ସାହାଯ୍ୟରେ ବ୍ୟାଖ୍ୟା କରାଯାଇଅଛି ।



[ଚିତ୍ର ୧୮·୨ $^1P_1 \leftarrow {}^1D_2$ ସଂକ୍ରମଣରୁ ଜାତ ସାଧାରଣ ଜିମାନ ବିନ୍ୟାସ । ନଅଟି ଅନୁମିତ ସଂକ୍ରମଣରୁ କେବଳ ତିନୋଟି ରେଖା ମିଳିଥାଏ । σ ରେଖା ଗୁଡ଼ିକର ବିସ୍ଥାପନ π ରେଖାଠାରୁ $\pm e\hbar B/2m$]

M_J ପାଇଁ ବରଣ ନିୟମ କ୍ୱାଣ୍ଟମଯାନ୍ତ୍ରିକ ଦ୍ୱାରା ସଂକ୍ରମଣ ସମ୍ଭାବନା ହିସାବ କଲେ ସିଧାସଳଖ ମିଳିଥାଏ । କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଆହୁ ମଧ୍ୟ ପ୍ରକାଶ କରେ ଯେ, ନିୟମ ଅନୁସାରେ ଜିମାନ ବିନ୍ୟାସର ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ପାର୍ଶ୍ୱୀଭୂତ ହେବେ ($S=0$ ହେଉ ବା ନହେଉ LS ସଂଯୋଜକ ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ଦୁର୍ବଳ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଏ ନିୟମ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହୋଇଥାଏ) :

σ ପାର୍ଶ୍ୱୀକରଣ ପାଇଁ

$$\Delta M_J = \pm 1 \qquad (୧୮·୪କ)$$

π ପାର୍ଶ୍ୱୀକରଣ ପାଇଁ

$\triangle M_J = 0$ (କିନ୍ତୁ $\triangle_J 0$ ପାଇଁ $0 \rightarrow 0$ ହେବନାହିଁ) (୧୮·୪ଗ)

ଏଠାରେ π ପାର୍ଶ୍ଵିକରଣ ଅର୍ଥ ବିକିରଣର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଦିଗ୍‌ଗତା $\vec{B}$ ସହିତ ସମାନ୍ତର ଏବଂ σ ଅର୍ଥ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଭେକ୍ଟରଟି $\vec{B}$କୁ ଅଭିଲମ୍ବ । (ବିକିରଣକୁ $\vec{B}$ ସହିତ ସମକୋଣରେ ଦେଖିବାବେଳେ ଏପରି ଦେଖାଯିବ ଅନୁ ୬·୩) ।

18·3 ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଓ ଲାଣ୍ଡେ G ଗୁଣାଙ୍କ :

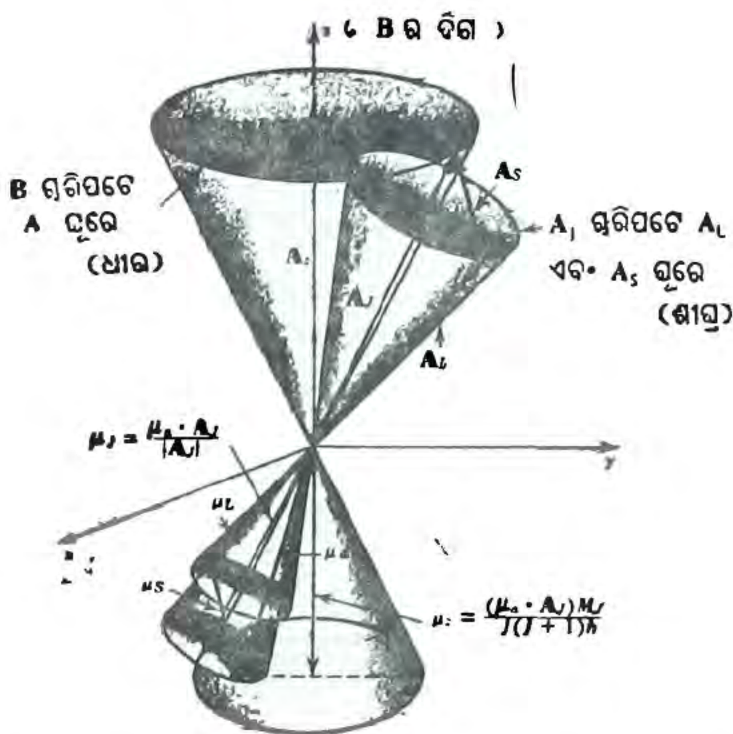
1925ରେ ଯେତେବେଳେ ଗୋଡ୍‌ସ୍ମିଟ୍ ଓ ଉଲେନ୍‌ବେକ୍ ବହୁଳ ଭାବରେ ପ୍ରଧାନ ଧାରଣା, ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନର ପ୍ରସ୍ତାବ ଦେଲେ, ସେମାନେ ଦେଖିଲେ ଯେ, ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ପାଇଁ 1 ବୋର୍ ମାଗ୍ନେଟନ ନେଲେ, ପାରମାଣବିକ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମର କେତେକ ବିଷୟ ବୁଝିହୁଏ । କ୍ଵାଣ୍ଟମଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଅନୁସାରେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଚୁମ୍ବକୀୟ ଅଘୂର୍ଣ୍ଣ $\vec{\mu}_s$କୁ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କୌଣିକ ସଂବେଗର $\vec{A}_s$ର $-2\,(e/2m)$ ଗୁଣ ନେବା ସଙ୍ଗେ ସମାନ; କିନ୍ତୁ କକ୍ଷୀୟ ଚୁମ୍ବକୀୟ ଅଘୂର୍ଣ୍ଣ ପାଇଁ $\mu_l = -(e/2m)\vec{A}_l$ । ତେଣୁ ପ୍ରଶ୍ନ ଉଠୁଛି ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କୌଣିକ ସଂବେଗର ଏକକ ଏକ ଏକକ ଗୋଟିଏ କକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗର ଠିକ୍ ଦୁଇଗୁଣ ନା ମୋଟାମୋଟି ଦୁଇଗୁଣ । ଆମେ ଲେଖିବା

$$\vec{\mu}_s = -g_s \frac{e}{2m}\vec{A}_s \qquad (୧୮·୫)$$

ଏଠାରେ g_sକୁ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ g ଗୁଣକ କୁହାଯାଏ । ଏହାର ମୂଲ୍ୟ ସମ୍ଭବତଃ ଠିକ୍ 2 ଓ ନିଶ୍ଚିତଭାବରେ ଆସନ୍ନ 2 ।

1934ରେ କିନ୍‌ସଲର୍ ପ୍ରଥମେ ପ୍ରମାଣ କଲେ ଯେ, g_sଟି 2ଠାରୁ ସାମାନ୍ୟ ଅଧିକ । ନିୟନର $^3P_1$ ଓ $^1P_1$ ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କରେ ଜିମାନ ପ୍ରଭାବର ସୂକ୍ଷ୍ମ ପରୀକ୍ଷାରୁ ସେ ଦେଖିଲେ ଯେ, ଉକ୍ତ ସମୀକରଣ (୧୮·୫) ଗ୍ରହଣୀୟ ହୁଏ, $g_s = 2{\cdot}0034 \pm 0{\cdot}0032$ । ବିଭିନ୍ନ ପ୍ରଣାଳୀରେ ପରେ ମାପ କରି $^1g_s = 2{\cdot}002319$ ମୂଲ୍ୟ ମିଳିଛି । ଆମର କାର୍ଯ୍ୟ ପାଇଁ $g_s = 2$ ନେଲେ ଯଥେଷ୍ଟ ହେବ ।

ଆମେ ବର୍ତ୍ତମାନ LS ସଂଯୋଜକ ପାଇଁ ଲଣ୍ଡେ g ଗୁଣକ ହିସାବ କରିବା । ଏଥିପାଇଁ B ଏତେ କମ୍ ନେବା ଯେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କକ୍ଷୀୟ ସୂକ୍ଷ୍ମଗଠନ ତୁଳନାରେ ଜିମାନ ବିଭଜନ ପାଇଁ ଏହା କମ୍ ହେବ । ସେତେବେଳେ ଚୁମ୍ବକୀୟ ଶକ୍ତିକୁ ଏକ ଆଲୋଡ଼ନ ଭାବରେ ବିସ୍ତାର କରାଯାଇ ପାରିବ । ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣରେ ଟର୍କ ଲାଗି $\vec{B}$ ଚାରିପଟେ $\vec{A}_J$.



[ଚିତ୍ର ୧୮·୭ ଦୁର୍ବଳ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଜିମାନ ପ୍ରଭାବ ବିସ୍ତାର କରିବାରେ ବ୍ୟବହୃତ ଆସନ୍ନ ହିସାବ ଦର୍ଶାଯାଇଅଛି]

ବର୍ତ୍ତମାନ ଯେଉଁ ହାରରେ ଘୂରିବ, ତାହା ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କକ୍ଷୀୟ ସଂବେଗର $\vec{A}_J$ (ଚିତ୍ର ୧୮·୭) ଚାରିପଟେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ତୁଳନାରେ କମ୍ । $\vec{A}_J$ର $\vec{B}$ ଚାରିପଟେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ତୁଳନାରେ $\vec{A}_J$

ସୁତରାଂ $\vec{\mu}_a$ ଅଧିକ ବେଗରେ ଘୂରୁଥିବାରୁ μ_a ହାରାହାରି ସମସ୍ତ ମୋଟାମୋଟି $\vec{A}_J$ର ବିପରୀତ ଦିଗରେ ଏହାର ସଂଯୋଜକ ସହ ମୋଟାମୋଟି ସମାନ, ଏହାର ମୂଲ୍ୟକୁ ଆମେ ଲେଖିବା μ_J । ଚିତ୍ର ୧୮.୪ରେ $\vec{A}_l, \vec{A}_s$ ଓ $\vec{A}_j$ ଭେକ୍ଟରଗୁଡ଼ିକୁ ଏବଂ ସଂପୃକ୍ତ ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣି ଭେକ୍ଟରଗୁଡ଼ିକୁ ଆମେ ଆଉ ଥରେ ଟାଣିବା; ଏଠାରେ

$\vec{\mu}_s = \Sigma \vec{\mu}_s = -2\ (e/2m)\ \vec{A}_s$ । ଚିତ୍ରରୁ ଆମେ ପାଇବା,

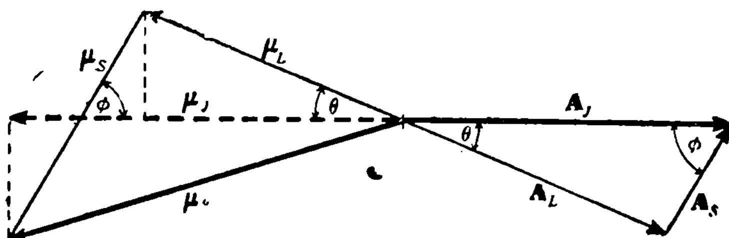
$$\mu_J = \mu_L \cos\theta + \mu_s \cos\phi \qquad (୧୮.୭)$$

cosine ନିୟମ ଅନୁସାରେ

$$A_s^2 = A_J^2 + A_L^2 + 2A_L A_J \cos\theta \text{ ଓ}$$

$$A_L^2 = A_J^2 + A_s^2 + 2A_J A_S \cos\phi$$

cos θ cos φ ପାଇଁ ଏହି ସମୀକରଣଗୁଡ଼ିକୁ ସମାଧାନ କଲେ ଓ ମୂଲ୍ୟଗୁଡ଼ିକୁ କୌଣିକ ସଂବେଗ ଓ ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣିଗୁଡ଼ିକ ସହ ସମୀକରଣ (୧୮.୭)ରେ ବସାଇଲେ, ମିଳିବ,



[ଚିତ୍ର ୧୮.୪ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କୌଣିକ ସଂବେଗର ପ୍ରତ୍ୟେକ ଏକକ ଏକ ଏକକ କକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗରେ ଦେଉଥିବା ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣିର ଦୁଇଗୁଣ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣି ଦେଉଥିବାରୁ $\vec{\mu}_a$ ଓ $\vec{A}_J$ କୁ ସମାନ୍ତର ନୁହେଁ ।]

$$\mu_J = -\frac{e\hbar}{2m}\left\{\frac{\sqrt{L(L+1)}\,[J(J+1)+L(L+1)-(S+1)]}{2\sqrt{L(L+1)}\,\sqrt{J(J+1)}} + \frac{2\sqrt{S(S+1)}\,[J(j+1)+S(S+1)-L(L+1)]}{2\sqrt{S(S+1)}\,\sqrt{j(J+1)}}\right\}$$

$$= -\frac{e}{2m}\sqrt{J(J+1)}\hbar\;\frac{3J(J+1)+S(S+1)-L(L+1)}{2J(J+1)}$$

$$= -g\frac{e}{2m}A_J \qquad (୮·୭)$$

ଏଠାରେ

$$g = 1+\frac{J(J+1)+S(S+1)-L(L+1)}{2J(J+1)} \qquad (୧୮·୮)$$

LS ସଂଯୋଜନା ପାଇଁ ଲାଣ୍ଡେ g ଗୁଣକ । ଗୋଟିଏ ଦୁର୍ବଳ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରର ଉପସ୍ଥିତିରେ (ଯାହାକି z ଦିଗ ସ୍ଥିର କରି ଦେଇଥାଏ) $\vec{A}_J$ର z ସଂଯୋଜକର ଅନୁମିତ ମୂଲ୍ୟ ସବୁ $M_J\hbar$ ଏବଂ $(\mu j)_z$ର ଅନୁରୂପ ସାମ୍ଭବ୍ୟ ମୂଲ୍ୟସବୁ ହେଲା,

$$(\mu J)_z = -g\frac{e}{2m}A_J\,\frac{M_J\hbar}{A_J}$$

$$= -\frac{e\hbar}{2m}M_J \times \left[1+\frac{J(J+1)+S(S+1)-L(L+1)}{2J(J+1)}\right]$$

$$= -\mu_B M_J g \qquad (୧୮·୯)$$

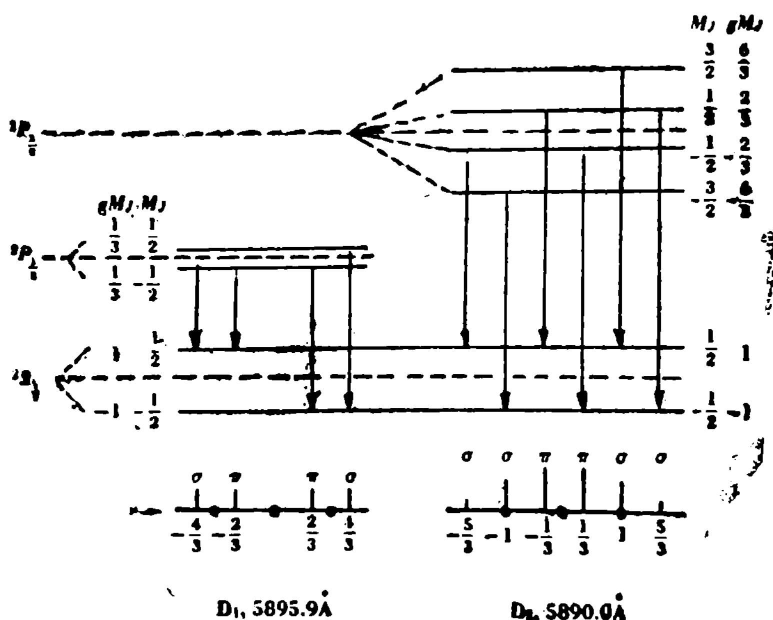
ଏଠାରେ μ_B ହେଲା ବୋର୍ ମାଗ୍ନେଟନ $(e\hbar/2m)$ । ସମୀକରଣ (୧୮·୧) ଦ୍ୱାରା ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ପ୍ରତି ଶକ୍ତିସ୍ତର $2j+1$ ସଂଖ୍ୟକ "ଚୁମ୍ବକସ୍ତର" ଅନ୍ତାବସ୍ଥାରେ ଭାଙ୍ଗିଯାଏ; ସେମାନଙ୍କର ଶକ୍ତି ହୁଏ,

$$E = E_0 + \mu_B B M_J g \qquad (୧୮·୧୦)$$

ସମୀକରଣ (୧୮'୧୦)ରେ g କୁ ଏକ ବୋଲି ନେଲେ ସମୀକରଣ (୧୮.୩)ରେ ପରିଣତ ହୋଇଯାଏ; ଏକ ହେଉଛି ଏକଧାର ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ ଲାଣ୍ଡେ g ଗୁଣକର ମାନ ।

18.4 ଗୋଟିଏ ଦୁର୍ବଳ କ୍ଷେତ୍ରରେ LS ବହୁଧାରମାନଙ୍କର ଜିମାନ ବିନ୍ୟାସ :

ଅସାଧାରଣ ବିନ୍ୟାସର ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, $^2S_{\frac{1}{2}} \leftarrow {}^2P_{\frac{3}{2}}$ ଓ $^2S_{\frac{1}{2}} \rightarrow {}^2P_{\frac{1}{2}}$ ସଂକ୍ରମଣମାନଙ୍କରୁ ଉତ୍ପନ୍ନ ସୋଡ଼ିୟମ D ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ବିଷୟରେ କୁହ । ସ୍ତରମାନଙ୍କର ବିଭାଜନ ଓ ଅନୁମତି ସଂକ୍ରମଣଗୁଡ଼ିକ ଚିତ୍ର ୧୮'୫ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି, ଏଥିରୁ ମିଳୁଥିବା ରେଖା ବିନ୍ୟାସ ତଳେ ଦିଆଯାଇଅଛି ।



[ଚିତ୍ର ୧୮'୫ ସୋଡ଼ିୟମ D ରେଖାମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଦୁର୍ବଳକ୍ଷେତ୍ର ଜିମାନ ବିଭାଜନ । ସାଧାରଣ ଜିଧାରର ଅବସ୍ଥାନ ଗୋଟିଏ ବିନ୍ଦୁଦ୍ୱାରା ଚିହ୍ନିତ ହୋଇଅଛି । ସମସ୍ତ ଜିମାନ ବ୍ୟବଧାନ ପାଇଁ ଏକା ସ୍କେଲ ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇଅଛି । କମ୍ପନର ରେଖାମାନଙ୍କ ପାଇଁ ତୁଳନାତ୍ମକ ଉଚ୍ଚତା, ତତ୍ସମ୍ବନ୍ଧି ତୁଳନାତ୍ମକ ତୀବ୍ରତା ସୂଚାଉଅଛି ।]

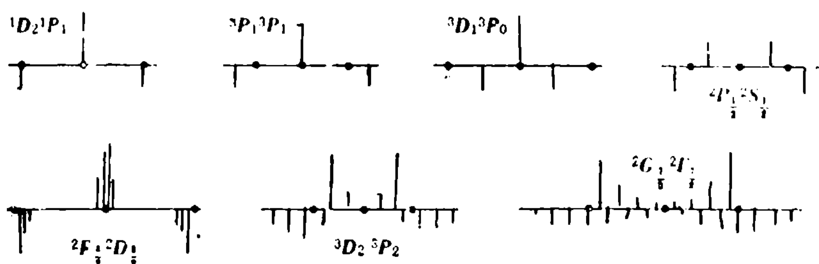
ଜିମାନ ବିନ୍ୟାସ ବର୍ଣ୍ଣନ କରିବାରେ, ଜିମାନ ବିନ୍ୟାସର ପ୍ରତି ରେଖାର ମୂଳ ରେଖାଠାରୁ (ଶୂନ୍ୟ କ୍ଷେତ୍ର) ବିସ୍ଥାପନ ସ୍ଥିର କରିଦେବା ସୁବିଧାଜନକ ହେବ । ଏହାକୁ ସାଧାରଣ ଜିମାନ ବିସ୍ଥାପନରେ ଯାହାଙ୍କ ଶକ୍ତି ଏକକରେ ($\mu_B B$ ଓ ଆବୃତ୍ତି ଏକକରେ $\mu_B B/h$) ପ୍ରକାଶ କରିବା ଦରକାର । ଗୋଟିଏ ସାଧାରଣ ଜିମାନ ଧାରାର ପ୍ରତି ବାହ୍ୟ ରେଖାର କେନ୍ଦ୍ରୀୟ ରେଖାଠାରୁ ତରଙ୍ଗ ସଂଖ୍ୟାରେ ବିସ୍ଥାପନ B କ୍ଷେତ୍ରପାଇଁ ସମସ୍ତ ସମୟରେ ଲରେଞ୍ଜ ଏକକ ବୋଲି କଥିତ ହୋଇଥାଏ । ଯେତେବେଳେ B ପ୍ରତି ବର୍ଗ ମିଟରକୁ ଟେସ୍‌ଲାରେ ମାପ କରାଯାଏ, ଏହାର ମୂଲ୍ୟ $\bar{L} = \mu_B B/hc = 0{\cdot}467 B cm^{-1}$ ହୋଇଥାଏ ।

ସୋଡ଼ିୟମ D ଦ୍ୱିଧାର ପାଇଁ D_1 $(^2S_{\frac{1}{2}} \leftarrow {}^2P_{\frac{1}{2}})$ ରେଖାଟି ଚାରିଗୋଟି ସଂଯୋଜକରେ ବିଭକ୍ତ ହୋଇଥାଏ, ଦୁଇଟି π ସଂଯୋଜକ ଏମାନଙ୍କର ବିସ୍ଥାପନ ଏମାନଙ୍କର ବିସ୍ଥାପନ $\pm \frac{2}{3} \bar{L}$ ଏବଂ $\pm \frac{4}{3} \bar{L}$ ବିସ୍ଥାପନ ସହ ଦୁଇଟି σ ସଂଯୋଜକ । D_2 $(^2S_{\frac{1}{2}} \leftarrow {}^2P_{\frac{3}{2}})$ ଛଅଟି ସଂଯୋଜକରେ ଭାଙ୍ଗି ଯାଇଥାଏ; ଦୁଇଟି $\pm \bar{L}$ ବିସ୍ଥାପନ ସହ π ଏବଂ ± 1 ଓ $\pm \frac{5}{3} \bar{L}$ ବିସ୍ଥାପନ ସହ ଚାରିଗୋଟି σ । $\Delta M_J = 0$ ବର୍ଣ୍ଣ ନିୟମରୁ π ପାର୍ଶ୍ୱିକରଣ ଓ $\Delta M_J = \pm 1$ରୁ σ ପାର୍ଶ୍ୱିକରଣ ମିଳିଥାଏ, ଠିକ୍ ଯେପରି ସାଧାରଣ ଜିମାନ ପ୍ରଭାବ ପାଇଁ ମିଳିଥାଏ । ସାଧାରଣ ଜିମାନ ପ୍ରଭାବକୁ ଗୋଟିଏ ବିଶେଷ ଘଟଣା ବୋଲି ବର୍ତ୍ତମାନ ବୁଝାଯାଏ । ଏଠାରେ $S=0$ ।

ଏହା ସ୍ପଷ୍ଟ ଯେ, ବହୁ ପ୍ରକାରର ବିନ୍ୟାସ ସମ୍ଭବ; ଏଥିରେ କେତୋଟି ମାତ୍ର ଚିତ୍ର ୯·୨ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଗୋଟିଏ ଦତ୍ତ ସିରିଜ୍‌ର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର ବହୁଧାରମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଅନୁରୂପ ରେଖାସବୁ ଏକା ପ୍ରକାରର ବିନ୍ୟାସ ଦେଇଥାଏ; ଏହି ରେଖାଗୁଡ଼ିକର ଗୋଟିଏ ସାଧାରଣ ଶେଷ ସ୍ତର ଥାଏ ଏବଂ ସେମାନଙ୍କର ପ୍ରାରମ୍ଭିକ ସ୍ତରମାନଙ୍କର ଏକା J, S ଓ L ଥାଏ ଏବଂ ସେହି କାରଣରୁ g ର ଏକା ମୂଲ୍ୟ ହୋଇଥାଏ । ଏହି ସିଦ୍ଧାନ୍ତ ପରୀକ୍ଷା ସହିତ ମିଳିଯାଇଥାଏ; ଏହାକୁ ପ୍ରେଷ୍ଟନ ନିୟମ କୁହାଯାଏ । ଏହା 1898 ମସିହାରେ ଅନୁଭବରୁ ଆବିଷ୍କୃତ ହୋଇଥିଲା । ଗୋଟିଏ ସିରିଜ୍‌ରେ କେଉଁ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ଏକ ଗୋଷ୍ଠୀର, ତାହା ସ୍ଥିର କରିବାପାଇଁ ସାଧାରଣତଃ

ପ୍ରେଷ୍ଟନଙ୍କ ନିୟମ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇଥାଏ । ଅନେକକ୍ଷେତ୍ରରେ ଜିମାନ ବିନ୍ୟାସରୁ g ଓ j ଦୁହିଁଙ୍କର ମୂଲ୍ୟ ବ୍ୟବହୃତ ହୁଇ LSJ ସ୍ତର ପାଇଁ ପାଇବା ସମ୍ଭବ ହୋଇଥାଏ ।

ତରଙ୍ଗ ଯାନ୍ତ୍ରିକର ଉଦ୍ଭବ ପୂର୍ବରୁ g ଗୁଣକ ସହ ଅସାଧାରଣ ଜିମାନ ପ୍ରଭାବର ଏକ ଗାଣିତିକ ଆଲୋଚନା ଲାଣ୍ଡେ ଦେଇଥିଲେ । ସେ ଦେଖାଇଥିଲେ j^2 ପରିବର୍ତ୍ତେ $J(J+1)$ ବ୍ୟବହାର କରାଯିବା ଉଚିତ । ପ୍ରାଥମିକ ସ୍ତର ପାଇଁ ଲାଣ୍ଡେ ଗୁଣକକୁ g' ଓ ଶେଷ ସ୍ତର ପାଇଁ g'' ନେଇ କେତେକ ବିଶେଷ ଘଟଣା ଆଲୋଚନା କରାଯାଇପାରେ ।



[ଚିତ୍ର ୧୮ '୭ ଗୋଟିଏ ଦୁର୍ବଳ କ୍ଷେତ୍ରରେ LS ସଂଯୋଜନା ପାଇଁ କେତେକ ଜିମାନ୍ ବିନ୍ୟାସ । ରେଖାମାନଙ୍କର ଉଚ୍ଚତା ସ୍ଥୂଳ ତୁଳନାତ୍ମକ ତୀବ୍ରତା ସୂଚାଉଅଛି । ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ଉପରେ ଓ ତଳେ σ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ଟଣା ଯାଇଅଛି । ସେହି କ୍ଷେତ୍ରରେ ସାଧାରଣ ତ୍ରିଧାରଗୁଡ଼ିକର ଅବସ୍ଥାନ ବିନ୍ଦୁଦ୍ୱାରା ସୂଚିତ]

ହୋଇପାରେ ଯେ ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ରରେ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେଖା ଆଦୌ ବିଭାଜନ ହେବ ନାହିଁ । $^5D_0 \leftarrow {}^5F_1$ ସଂକ୍ରମଣ ଏହାର ଗୋଟିଏ ଉଦାହରଣ । ଏଥିରେ $^5F_1$ ପାଇ $g'=0$, ଏବଂ $M_J=0$ ହେବ $^5D_0$ ପାଇଁ; ଏହି ଘଟଣାଟି ଟିଟାନିୟମର ଆର୍କ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ λ5713A° ରେଖା ପାଇଁ ଦେଖାଯାଇଥାଏ । ଯଦି $g'=g''$, ବିନ୍ୟାସଟି ଗୋଟିଏ ସରଳ ତ୍ରିଧାର ହୋଇପାରେ; କିନ୍ତୁ ଏଥିରେ ବ୍ୟବଧାନ ସାଧାରଣ ପରି ହେବ ନାହିଁ । ସେହିପରି $J=1$ରୁ $J=0$ ସ୍ତରକୁ ସଂକ୍ରମଣ ଅସାଧାରଣ ବ୍ୟବଧାନ ସହ ଗୋଟିଏ ତ୍ରିଧାର ବିନ୍ୟାସ ହେବ ।

ଜିମାନ ବିନ୍ୟାସ ପାଇଁ ତୀବ୍ରତା ନିୟମ ନିମ୍ନଦତ୍ତ ବିଷୟରୁ ଜଣାଯିବ, M_J ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକର ପରିସଂଖ୍ୟାନ ଓଜନ ସମାନ ଏବଂ

୧ । ଯେ କୌଣସି ପ୍ରାରମ୍ଭିକ ଜିମାନ ସ୍ତରରୁ ସମସ୍ତ ସଂକ୍ରମଣ ପାଇଁ ତୀବ୍ରତାମାନଙ୍କର ସମଷ୍ଟି, ଅନ୍ୟ ଯେକୌଣସି ପ୍ରାରମ୍ଭିକ ସ୍ତରରୁ ସମସ୍ତ ସଂକ୍ରମଣ ପାଇଁ ତୀବ୍ରତାର ସମଷ୍ଟି ସହ ସମାନ ।

୨ । ଯେକୌଣସି ଶେଷ ଜିମାନ ସ୍ତରରେ ପହଞ୍ଚୁଥିବା ସମସ୍ତ ସଂକ୍ରମଣ ପାଇଁ ତୀବ୍ରତାମାନଙ୍କର ସମଷ୍ଟି ଅନ୍ୟ ଯେକୌଣସି ଶେଷ ସ୍ତର ପାଇଁ ସମାନ । ସାଧାରଣ ଜିମାନ ବିନ୍ୟାସ ପାଇଁ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରକୁ ଅନୁପ୍ରସ୍ଥ ଭାବରେ ଦେଖିଲେ ଦୁଇ σ ସଂଯୋଜକରୁ ପ୍ରତ୍ୟେକ ତୀବ୍ରତାରେ କେନ୍ଦ୍ରସ୍ଥ π ରେଖାର ଅର୍ଦ୍ଧେକ; σ ସଂଯୋଜକଗୁଡ଼ିକୁ ଅନୁପ୍ରସ୍ଥ ଭାବରେ ଦେଖିଲେ ଯେତେ ତୀବ୍ର ଦେଖାଯାଆନ୍ତି, କ୍ଷେତ୍ରଦିଗରେ ଦେଖିଲେ ତା'ର ଦୁଇଗୁଣ ତୀବ୍ର ଦେଖାଯାଆନ୍ତି । ଏହି ପରୀକ୍ଷା ଫଳଟି ଜିମାନ ପ୍ରଭାବର ପୁରାତନ ତତ୍ତ୍ୱ ସହିତ ମିଳିଯାଇଥାଏ । ପ୍ରତି ବୃତ୍ତୀୟ ଗତି, ପରସ୍ପରକୁ ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ଥିବା ଦୁଇଟି ସରଳରୈଖିକ ଦୋଳନର ସମକକ୍ଷ, କିନ୍ତୁ ଏ ଦୁଇଟି ଅନୁପ୍ରସ୍ଥ ଦିଗରେ ହେବା ଦରକାର, ଏଥିରୁ ଗୋଟିକରୁ ମାତ୍ର ବିକିରଣ ଗୃହୀତ ହୋଇଥାଏ, ଏଥିରୁ ଯେଉଁଟି ଦୃଷ୍ଟିରେଖାର ପଥରେ ଥାଏ ସେଇଟି ଦେଖାଯାଏ ନାହିଁ । ଅନ୍ୟମଧ୍ୟ, ଗୋଟିଏ ଦିଗରେ ଯେତେ ଅଧିକ ପାର୍ଶ୍ୱୀଭୂତ ହୋଇଥାଏ, ସେତିକି ବିପରୀତ ଦିଗରେ ହୋଇଥାଏ, ତେଣୁ ମୋଟରେ ନିଷ୍ପାଦିତ ବିକିରଣ ପାର୍ଶ୍ୱୀଭୂତ ହୁଏନାହିଁ; ଏବଂ ମୋଟ ତୀବ୍ରତା ସବୁ ଦିଗରେ ସମାନ ହୋଇଥାଏ ।

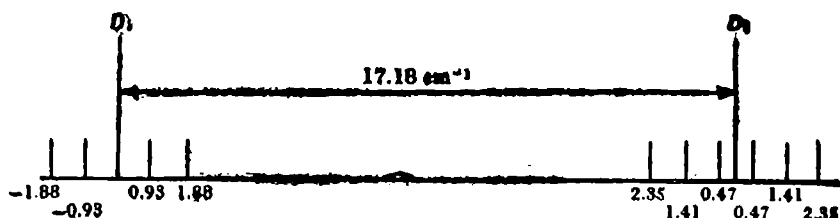
18·5 ପାସେନ୍-ବ୍ୟାକ୍ ପ୍ରଭାବ :

ଅନୁ: ୧୮·୩ର ସୂତ୍ରଗୁଡ଼ିକ କେବଳ ଦୁର୍ବଳ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରମାନଙ୍କପାଇଁ ଲାଗୁ ହେବ । ତେବେ, "ଦୁର୍ବଳ" ଶବ୍ଦଟି ତୁଳନାତ୍ମକ କାରଣ 1000 ଗାଉସ୍‌ରୁ ଅଧିକ କ୍ଷେତ୍ର ଭଲ ଜିମାନ ବିନ୍ୟାସ ଦେବାପାଇଁ ଦରକାର ହୋଇଥାଏ । ଗୋଟିଏ କ୍ଷେତ୍ରକୁ ଦୁର୍ବଳ ବୋଲି ବୁଝାଯିବ, ଯେତେବେଳେ ପ୍ରତିରେଖାର ମୋଟ ବିସ୍ତାର ସେହି ରେଖାମାନଙ୍କର ବ୍ୟବଧାନ ତୁଳନାରେ ଛୋଟ ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ଚିତ୍ର ୧୮·୭ ସୋଡ଼ିୟମ D ରେଖାଗୁଡ଼ିକ 30,000 ଗାଉସ୍ କ୍ଷେତ୍ରରେ ସେମାନଙ୍କର ଯଥାକ୍ରମ ଜିମାନ୍ ବିନ୍ୟାସ ସହ ସ୍ପଷ୍ଟ

ଅନୁସାରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । D_1 ଓ D_2 ରେଖାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ବ୍ୟବଧାନ ତୁଳନାରେ ଜମାନ ବ୍ୟବଧାନ ଅଳ୍ପ ବୋଲି ଦେଖାଯାଉଅଛି । ତେଣୁ, ଏହି ରେଖାମାନଙ୍କ ପାଇଁ $3Wb/m^2$ ଗୋଟିଏ ଦୁର୍ବଳ କ୍ଷେତ୍ର । କିନ୍ତୁ ଲିଥିୟମ୍‌ରେ ଜମାନ ପ୍ରଭାବ ଦେଖା ମୁଖ୍ୟ ସିରିଜ୍‌ର ପ୍ରଥମ ରେଖାର ଶୂନ୍ୟକ୍ଷେତ୍ରରେ ଦୁଇ ସଂଯୋଜକର ବ୍ୟବଧାନ $0{\cdot}3cm^{-1}$ ହୋଇଥାଏ । $3Wb/m^2$ର ଗୋଟିଏ କ୍ଷେତ୍ର $1{\cdot}4cm^{-1}$ ଜମାନ ବ୍ୟବଧାନ ଉତ୍ପନ୍ନ କରିବ । ତେଣୁ ଲିଥିୟମ୍ ପାଇଁ $3Wb/m^2$ ଗୋଟିଏ ଶକ୍ତିଶାଳୀ କ୍ଷେତ୍ର ।

ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ଦୁର୍ବଳରୁ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ହେବାକୁ ଲାଗିଲେ, ଅନୁ: ୧୮.୩ରେ ବ୍ୟବହୃତ ଆସନ୍ନଗୁଡ଼ିକ ଆଉ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହେବେନାହିଁ, କାରଣ $\vec{B}$ ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେସଙ୍ଗେ $\vec{B}$ ଲାଗି ପରିକ୍ରମଣ ହାର A_J ସ୍ୱରୂପରେ A_L ଓ A_Sର ପରିକ୍ରମଣ ହାର ଅପେକ୍ଷା ଆଉ କମ୍ ହେବନାହିଁ । ଶକ୍ତିଶାଳୀ କ୍ଷେତ୍ରମାନଙ୍କରେ $\vec{A}_L$ ଓ $\vec{A}_S$ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଭାବରେ $\vec{B}$ ସ୍ୱରୂପରେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କରି ପାରନ୍ତି । ଅନୁ: ୯.୮ରେ ଆମେ ଦେଖିଥାଉଁ ଯେ, ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ପାଇଁ କକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗ ଭେକ୍ଟର $\vec{A}_L$ ଲାର୍ମର ପରିକ୍ରମଣ ହାର $w_L = eB/2m$ ଅନୁସାରେ $\vec{B}$ ସ୍ୱରୂପରେ ପରିକ୍ରମଣ କରିବ । ଯେହେତୁ ସମସ୍ତ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନୀୟ A_L ଏକା ହାରରେ ପରିକ୍ରମଣ କରନ୍ତି, ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ର ପରିଣାମୀ କକ୍ଷୀୟ ସଂବେଗକୁ ପ୍ରଭାବିତ କରେନାହିଁ; ପରିଣାମୀ କକ୍ଷୀୟ ସଂବେଗ ଅନ୍ୟ ପ୍ରଭାବ ନଥିଲେ ଜଣେ w_L ଗତିବେଗରେ ପରିକ୍ରମଣ କରନ୍ତା । ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ପାଇଁ ଜାଇରୋମାଗ୍ନେଟିକ ଅନୁପାତ କକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗ ପାଇଁ ସେହି ମୂଲ୍ୟର ଦୁଇଗୁଣ ହେଉଥିବାରୁ ପରିଣାମୀ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସଂବେଗ $2w_L$ ଗତିବେଗରେ ପ୍ରଭାବିତ ନହୋଇ ପରିକ୍ରମଣ କରୁଥାଏ । ଯେହେତୁ ସାଧାରଣ ଭାବରେ ଏହି ହାରଗୁଡ଼ିକ ସମାନ ହୁଏନାହିଁ, ଦୁଇ ସଂବେଗର ଭେକ୍ଟର ଯୋଗଫଳ $\vec{A}_J$ ଧ୍ରୁବ ରହେନାହିଁ । ଡଙ୍ଗ ଯାନ୍ତ୍ରିକରେ ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରର LS ସଂଯୋଜନା ଉପରେ କୌଣସି ପ୍ରଭାବ ନଥାଏ, କିନ୍ତୁ $\vec{A}_J$ କ୍ୱାଣ୍ଟିକୃତ ହେବାରେ ଏହା ପ୍ରଭାବ ପକାଏ । ଗୋଟିଏ ଦୁର୍ବଳ କ୍ଷେତ୍ରରେ J

ଗୋଟିଏ ମୋଟାମୋଟି ଉତ୍ତମ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟାରୂପେ କାର୍ଯ୍ୟ କରିଥାଏ; କିନ୍ତୁ କ୍ଷେତ୍ରଟି ଶକ୍ତିଶାଳୀ ହେବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ j ଅଦୃଶ୍ୟ ହୋଇଯାଏ ଓ ଏହାର ବର୍ଣ୍ଣ ନିୟମ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହୁଏନାହିଁ ।



[ଚିତ୍ର ୧୮·୭ ସୋଡ଼ିୟମ D ରେଖାସବୁ ଓ ସେମାନଙ୍କର କ୍ରମାନ୍ୱୟ ସଂଯୋଜକମାନଙ୍କର $3Wb/m^2$ କ୍ଷେତ୍ରରେ ତୁଳନାତ୍ମକ ବ୍ୟବଧାନ]

ପୂର୍ବୋକ୍ତ ତତ୍ତ୍ୱରେ ଗୋଟିଏ ସମଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର $\vec{B}$ ଲଗି ହେଉଥିବା ବଳର ଭେକ୍ଟର ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ $\vec{B}$ ପ୍ରତି ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ଥାଏ, ତେଣୁ $\vec{B}$ ଦିଗରେ ଭେକ୍ଟର କୌଣିକ ସଂବେଗର ସଂଯୋଜକକୁ ବଦଳାଇବାର କୌଣସି ପ୍ରବୃତ୍ତି ନଥାଏ । ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକରେ ସେହିପରି ଗୋଟିଏ ସମଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରର ଉପସ୍ଥିତିରେ, ଅନ୍ୟଥା ଏକାକୀ ଥିବା ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁର ପ୍ରତି କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥା କ୍ଷେତ୍ରକୁ ସମାନ୍ତର ଭାବରେ ଥିବା କୌଣିକ ସଂବେଗର ଗୋଟିଏ ସ୍ଥିର ସଂଯୋଜକ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ ବା, ଅପରିକାଶ କ୍ଷେତ୍ରରେ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସୂତ୍ରଗୁଡ଼ିକୁ ଏହି କଥା ଠିକ୍ ହେବାପରି ସଙ୍କୋଚିତ କରାଯାଇପାରେ । କୌଣିକ ସଂବେଗର ଏହି ଉପାଂଶ ପାଇଁ ମୁଖ୍ୟ ପଦଟି ହେଲ $M_J h$; M_J କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟାଟି ଅନୁ: ୧୭·୧ରେ ଦିଆଥିବା ନିୟମାନୁସାରେ ଗୋଟିଏ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ବା ଅର୍ଦ୍ଧପୂର୍ଣ୍ଣ ସଂଖ୍ୟା ଏବଂ ସେଠାରେ ବର୍ଣ୍ଣିତ ବର୍ଣ୍ଣ ନିୟମର ଅନୁବର୍ତ୍ତୀ । ଅଭି ମୋଟ ସଂବେଗର ଗୋଟିଏ ସ୍ଥିର ସଂବେଗ ରହୁଅଛି । ଏହା ନିଜେ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରକୁ ଅନୁପାତୀ, କିନ୍ତୁ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରୋସ୍କୋପୀରେ ଏହା ହେଉ । ଯଦିଓ ମୋଟ କୌଣିକ ସଂବେଗ ସ୍ଥିର ନହୋଇପାରେ (ତେଣୁ J ଗୋଟିଏ ଗ୍ରାହ୍ୟ ଗୋଟିଏ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା ନ ହୋଇପାରେ), ସମୀକରଣ (୧୭·୩)ରେ ପ୍ରକାଶିତ M_J ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ହୋଇ ରହେ ।

$$M_J h = \Sigma(A_L)_z + \Sigma(A_S)_z = (M_L + M_S)h$$

ହୋଇଥିବାରୁ ଆମେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମଣ୍ଡଳ ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣର z ସଂଯୋଜକ ପାଇଁ ଲେଖି ପାରିବା,

$$\mu_s = -\frac{e}{2m}[\Sigma(A_L)_z + 2\Sigma(A_S)_z]$$

$$\times \frac{M_J\hbar}{\Sigma(A_L)_z + \Sigma(A_S)_z}$$

$$= -\mu_B M_J g \qquad (୧୮.୧୧କ)$$

ଏଠାରେ g ଗୁଣକଟି ନିମ୍ନମତେ ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ,

$$g = \frac{\Sigma(A_L)_z + 2\Sigma(A_S)_z}{\Sigma(A_L)_z + \Sigma(A_S)_z} \qquad (୧୮.୧୧ଖ)$$

1912 ମସିହାରେ ପାସେନ୍ ଓ ବ୍ୟାକ୍ ମତ ଦେଲେ ଯେ, ଯଦି ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ରକୁ ଯଥେଷ୍ଟ ଶକ୍ତିଶାଳୀ କରାଯାଇପାରେ, (ସେତେବେଳେ) ଅଜଣା ଥିବା କିନ୍ତୁ ବିଭାଜନ ପ୍ରସ୍ତାବିତ ହେବ ଓ ସମସ୍ତ ବିନ୍ୟାସ ସାଧାରଣ ସ୍ଥିତିକୁ ଫେରି ଆସିବେ । ଏପରି ଫେରି ଆସିବା ରେଖାଗୁଡ଼ିକଙ୍କର ଏକତ୍ର ହେବାରୁ ବା କେତେକ ରେଖା ଅଦୃଶ୍ୟ ହେବା ଫଳରେ ଘଟିପାରେ । ପାସେନ୍ ଓ ବ୍ୟାକ୍ ତାଙ୍କର ପରୀକ୍ଷାରେ ଦୁଇଟି ଘଟଣାରେ ଏପରି ଏକ ଅବସ୍ଥା ଦେଖାଇବାକୁ ସମର୍ଥ ହୋଇଥିଲେ । ସେମାନେ ପରେ ପରୀକ୍ଷାଦ୍ୱାରା ଦେଖାଇଲେ ଯେ, ଗୋଟିଏ ଶକ୍ତିଶାଳୀ କ୍ଷେତ୍ରରେ j ବରଣ ନିୟମ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହୁଏନାହିଁ ଓ ନୂତନ ରେଖା ଦେଖାଦେଇପାରେ; କ୍ଷେତ୍ରଟି ଆହୁରି ଅଧିକ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ହେଲେ ଦେଖାଦେଉଥିବା ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ଅଦୃଶ୍ୟ ହୋଇଯାଏ ।

ଏହି ଘଟଣାକୁ ବର୍ତ୍ତମାନ ପାସେନ୍-ବ୍ୟାକ୍ ପ୍ରଭାବ କୁହାଯାଉଅଛି । ଚିରଚାରୀତ୍ୱିକ ତତ୍ତ୍ୱରୁ ବା ଭେକ୍ଟର ମଡ଼େଲରୁ ଏହା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଅନୁମାନ କରାଯାଇପାରେ । ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର $\vec{B}$ର L ଭେକ୍ଟରଗୁଡ଼ିକର Lରେ ସଂଯୋଜନାକୁ ବା S ଭେକ୍ଟରଗୁଡ଼ିକର Sରେ ସଂଯୋଜନାକୁ ନଷ୍ଟ କରିବାର କୌଣସି ପ୍ରବୃତ୍ତି ନଥାଏ; କିନ୍ତୁ L ଓ Sର ସଂଯୋଜନା Jକୁ ଏହା ନଷ୍ଟ କରିଥାଏ । ଯୋଟିଏ କ୍ଷେତ୍ର ଏତେ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ହେଉ ଯେ, ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକର ଜୀମାନ ବିଭାଜନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କକ୍ଷୀୟ ପ୍ରଭାବର ବିଭାଜନ ତୁଳନାରେ ବହୁତ ବେଶୀ ହେଉ ।

ତେବେ ପରୋକ୍ତ ପ୍ରଶ୍ନଟି ପ୍ରଥମ ଆସନ୍ନରେ ହେଲା କଣ୍ଟୀ ଉପାଗବ ଏବଂ ପାରମାଣବିକ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ଅନୁ: ୧୭.୭ରେ ବର୍ଣ୍ଣିତ L, S, M_L, M_S, ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ହେବ।

ଏମାନଙ୍କର ଅକ୍ଷ $\vec{B}$ ସମାନ୍ତର କରି ନିଆଯିବ। ଗୋଟିଏ ସୁଗ୍ଭଡ଼ନ ଗଠରେ ବର୍ତ୍ତମାନ ସବୁ L ଭେକ୍ଟର $\vec{B}$ ଚାରିପଟେ ଏକା କୌଣିକ ସଂବେଗ w_1ରେ ପରିଭ୍ରମଣ କରିବେ ଏବଂ ସେମାନଙ୍କର ପରିଣାମୀ ସେମାନଙ୍କ ସହିତ ପରିଭ୍ରମଣ କରିବେ। ସେହିପରି, S ଭେକ୍ଟର ଗୁଡ଼ିକ ଓ ସେମାନଙ୍କର ପରିଣାମୀ $2w_1$ ହାରରେ ପରିଭ୍ରମଣ କରିବ। ଯେହେତୁ ଏହି ହାରଗୁଡ଼ିକ ସମାନ ନୁହେଁ, ପରିଣାମୀ କୌଣିକ ସଂବେଗ ପରିମାଣରେ ବଦଳିବ, ଯଦିଓ $\vec{B}$ ଦିଗରେ ଏହାର ସଂଯୋଜକ ଧ୍ରୁବ ରହିବ।

ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକରେ, $\vec{B}$ ଦିଗରେ ମୋଟ ସଂଯୋଜକ ହେଲା $M_J\hbar$ ଏବଂ ଏଠାରେ $M_J = M_L + M_S$; ଆଉ ମଧ୍ୟ $\Sigma(A_L)_z = M_L\hbar$ ଓ $\Sigma(A_S)_z = M_S\hbar$। ତେଣୁ, ଗୋଟିଏ ଦୁର୍ବଳକ୍ଷେତ୍ରରେ ହେବାପରି, $\Sigma(A_L)_z$ ଓ $\Sigma(A_S)_z$, B ଉପରେ ନିର୍ଭରଶୀଳ ନୁହନ୍ତି। ସମୀକରଣ (୧୮.୪) (୧୮.୬) ଓ (୧୮.୧୧କ, ଖ)ରୁ ଗୋଟିଏ ଶକ୍ତିଶାଳୀ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଠିକ୍ ହେବାପରି ଅସନ୍ନ ପାଇବା।

$$g = 1 + \frac{M_S}{M_J} \qquad (୧୮.୧୨ଗ)$$

$$\mu_z = -(M_J + M_S)\mu_B \qquad (୧୮.୧୨ଘ)$$

$$E = E_0 + (m_J + M_S)\mu_B B \qquad (୧୮.୧୨)$$

$\Delta M_J = 0$ ବା ± 1, $\Delta M_S = 0$ ବଚ୍ଛ ନିୟମ ଲାଗି, ବର୍ତ୍ତମାନ ସାଧାରଣ ତ୍ରିଧାର ଦେଖାଦେବ, ଠିକ୍ ଯେପରି ଗୋଟିଏ ଅତି ଶକ୍ତିଶାଳୀ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ ଦେଖାଦିଏ।

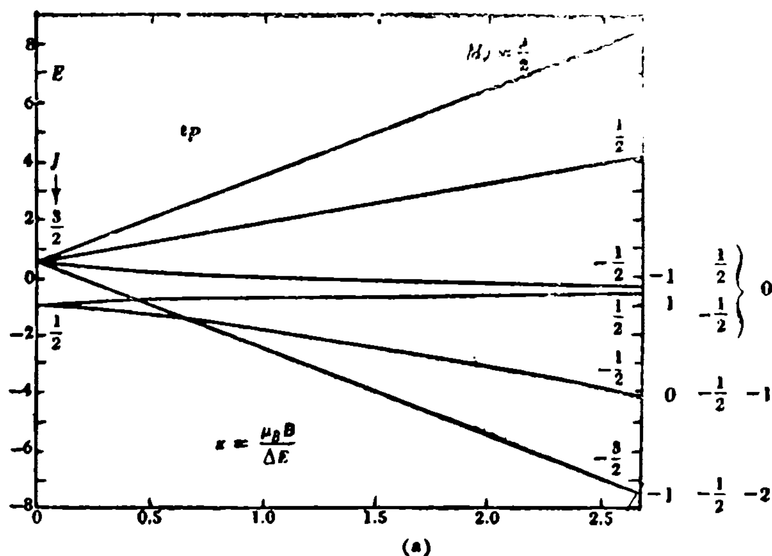
କିନ୍ତୁ, ଯେତେବେଳେ ପୂର୍ଣ୍ଣାଙ୍ଗ କଣୀୟ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ହିସାବକୁ ନିଆଯିବ, ଦେଖାଯିବ ଯେ, ଯୁଗ୍ମଗୁଡ଼ିକର ବ୍ୟବଧାନ ଧ୍ରୁବ ରହିବ ନାହିଁ, $M_J + M_S$ର ଏକା ମୂଲ୍ୟ

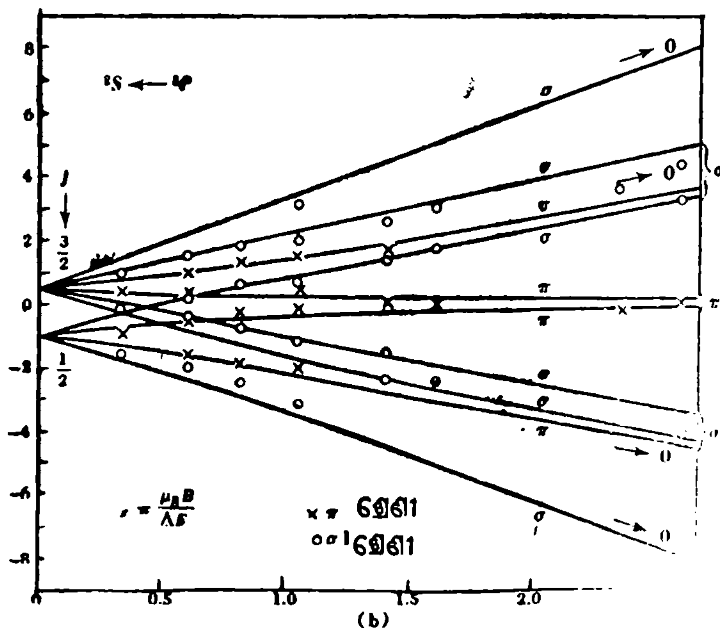
ଥିବା ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକର M_J ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ହୋଇଥିଲେ ଅଳ୍ପ ପରିମାଣରେ ଅଲଗା ହୋଇ-ଯିବେ । ଏପରି ଶକ୍ତିଶାଳୀ କ୍ଷେତ୍ର ବିନ୍ୟାସରେ ସୂକ୍ଷ୍ମଗଠନ ପ୍ରବେଶ କରିଥାଏ, ଶୂନ୍ୟକ୍ଷେତ୍ରରେ ମୂଳ ସୂକ୍ଷ୍ମଗଠନର ପରିମାଣ ଯେଉଁ ପରମ କୋଟୀର ଏଠାରେ ସେହି ପରମକୋଟୀର ହୋଇଥାଏ । ଏହା $E=E_0+(M_s+M_S)\mu_B B+KM_L M_S$ ଦ୍ୱାରା ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଏ ।

ଗୋଟିଏ ଦୁର୍ବଳ କ୍ଷେତ୍ରରୁ ଗୋଟିଏ ଶକ୍ତିଶାଳୀ କ୍ଷେତ୍ରକୁ ପରିବର୍ତ୍ତନ ଚିତ୍ର ୧୮.୮ରେ ଗୋଟିଏ $^2S\leftarrow{}^2P$ ସଂକ୍ରମଣ ପାଇଁ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଏହା ଏପରି କରାଯାଇଅଛି ଯେ ଏଥିରୁ ସୋଡ଼ିୟମ D ରେଖାକୁ ମିଳୁଅଛି । $P_{\frac{3}{2}}$ ଓ $P_{\frac{1}{2}}$ ସ୍ତରମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ବ୍ୟବଧାନ ସହ ତୁଳନା କରି ବ୍ୟବଧାନ ସବୁ ଏ ଅଙ୍କନରେ ଦିଆଯାଇଅଛି ।

କେଶ୍ ସେଗୁଡ଼ିକ ଏପରି ଯେକୌଣସି ଘଟଣାରେ ପ୍ରଯୁଜ୍ୟ; y-ଅକ୍ଷରେ ଦିଆଥିବା ଗ୍ରହିକ୍ଷେତ୍ରର ଶକ୍ତିକୁ ଅନୁପାତୀ । ଚିତ୍ର ୧୮.୮କରେ ^{2}P ସ୍ତରମାନଙ୍କର ଗାଣିତିକ ଅବସ୍ଥାନ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି, ଏଥିରେ $M_J=M_L+M_S$ର ମୂଲ୍ୟ ଅନୁସାରେ ନାମକରଣ କରାଯାଇଅଛି; ଅଙ୍କନର ପାର୍ଶ୍ୱରେ କୌଣସି କ୍ଷେତ୍ର ନଥିବାବେଳେ ଓ ଶକ୍ତିଶାଳୀ କ୍ଷେତ୍ରରେ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟାସବୁ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଦୁଇ ^2S ସ୍ତରର ବ୍ୟବଧାନ କେବଳ Bର ଅନୁପାତରେ ଥାଏ; ସେଗୁଡ଼ିକ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇନାହିଁ । ଚିତ୍ର ୧୮.୮(ଖ)ରେ $^2S\leftarrow{}^2P$ ସଂକ୍ରମଣ ପାଇଁ ଦଶଟି ରେଖାର ଅବସ୍ଥାନର ହିସାବ କେବଳ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି, π ଓ σ ରେଖାଗୁଡ଼ିକରୁ ସେହିପରି ନାମକରଣ କରାଯାଇଛି । ଯେଉଁ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ଦୁର୍ବଳ ଓ ଗୋଟିଏ ଅସୀମ ଶକ୍ତିଶାଳୀ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଶେଷରେ ଲୋପ ପାଇଯିବ, ସେଗୁଡ଼ିକ "$\rightarrow 0$" ଚିହ୍ନଦ୍ୱାରା ସୂଚିତ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ଯେ, କ୍ଷେତ୍ରଟି ଶକ୍ତିଶାଳୀ ହେବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ^2P ସ୍ତରରୁ ଦୁଇଟି ମିଳିତ ହୋଇଯାଏ, ଦୁର୍ବଳକ୍ଷେତ୍ରର 10ଟି ରେଖାରୁ 4ଟି ଲୋପ ପାଇଯିବ ଓ ଅନ୍ୟମାନେ ଯୋଡ଼ ଯୋଡ଼ ହୋଇ ମିଳିତ ହୋଇଯିବେ ।

ଗୋଟିଏ ଅନୁରୂପ ଚିତ୍ର jj ସଂଯୋଜନା ପାଇଁ ଗଢ଼ାଯାଇପାରିବ । କ୍ଷେତ୍ରଟି ଅଧିକରୁ ଅଧିକ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ହେବାଦ୍ୱାରା ଏକା M_J ଥିବା ସ୍ତରସବୁ କଟାକଟି ହୁଅନ୍ତିନାହିଁ, ଏହି ନିୟମଟି ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକୁ ଅଙ୍କନ କରିବାରେ ସହାୟକ ହୋଇଥାଏ ।





[ଚିତ୍ର ୧୮.୮(କ) ଗୋଟିଏ ଚମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ^2P ଶକ୍ତିସ୍ତରମାନଙ୍କରେ ପାସନବ୍ୟାକ୍ ପ୍ରଭାବ । E ସେଣ୍ଟିମିଟର୍ ଏକକରେ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ, ଶୂନ୍ୟକ୍ଷେତ୍ରରେ ΔE ହେଉଛି $\frac{3}{2} - \frac{1}{2}$ ବ୍ୟବଧାନ । ଏହା y-ଅକ୍ଷରେ 1·5 ହେବାକୁ ନିଆଯାଇଅଛି । xରେ ΔEକୁ ଜୋଲ୍‌ରେ ଓ Bକୁ ପ୍ରତି ବର୍ଗମିଟର ପାଇଁ ୱେବରରେ ନିଆଯାଇଅଛି । (ଖ) ଲିଥିୟମ୍‌ରେ ବେକଙ୍କ ଦ୍ୱାରା କେତେକ ପରୀକ୍ଷା ଫଳ ସହ $^2S \leftarrow {}^2P$ କ୍ରମାନ ସଂକ୍ରମଣରେ ଦେଖାଯାଉଥିବା ପାସନ-ବ୍ୟାକ୍ ପ୍ରଭାବ]

ଏଠାରେ ଯୋଗ କରିବାକୁ ହେବ ଯେ, ଏପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ କରାଯାଇଥିବା ଆଲୋଚନାରେ, ଗୋଟିଏ P ଓ ଗୋଟିଏ D_1 ଏହିପରି ବାଛିଲ ପରର ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକୁ ଏକତ୍ରିତ କଲାପରି ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ର ଶକ୍ତିଶାଳୀ ହୋଇନାହିଁ ବୋଲି ଅନୁମାନ କରାଯାଇଅଛି । ଯଦି ଏହି ସୀମା ଅତିକ୍ରମ କରାଯାଇ ପାରିବ, ସାଧାରଣ ବିଧାର ପୁଣି ଉଭେଇଯିବ ଓ ପୁଣି ଯେତେବେଳେ କ୍ଷେତ୍ରଟି ଅତି ଶକ୍ତିଶାଳୀ ହୋଇ କେବଳ କେନ୍ଦ୍ରୀୟକ୍ଷେତ୍ର ଛଡ଼ା ଅନ୍ୟ ସମସ୍ତ ପ୍ରଭାବକୁ ଅଭିଭୂତ କରିଦେବ ସେତେବେଳେ ଏ ବିଧାର ଦେଖାଦେବ; ଯେତେବେଳେ ନିମ୍ନ ବର୍ଣ୍ଣିତ ଘଟଣା ଘଟିବ ।

18·6 ଅତି ଶକ୍ତିଶାଳୀ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଜିମାନ ପ୍ରଭାବ :

ଯେଉଁ ଶକ୍ତିଶାଳୀ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଅନ୍ୟ ସମସ୍ତ କାରଣରୁ ହେଉଥିବା ଜଟିଳତା ହେସ୍ତ ହୋଇପାରିବ, ସେହି କ୍ଷେତ୍ରରେ ସରଳତମ ଜିମାନ ପ୍ରଭାବ ଉତ୍ପନ୍ନ ହେବା ଉଚିତ । ଏପରି ଏକ କ୍ଷେତ୍ରକୁ ଆମେ ଅତି ଶକ୍ତିଶାଳୀ କ୍ଷେତ୍ର ବୋଲି କହିବା ।

ପ୍ରଥମେ ଗୋଟିଏ କେନ୍ଦ୍ରୀୟ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ କଥା ବିଚାର କର-



ଯାଉ, ଏହା ଗୋଟିଏ ସମଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର Bରେ ରହିଅଛି । ଆମେ ଅନୁମାନ କରୁଅଛୁଁ ଯେ, ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-କକ୍ଷୀୟ ପ୍ରଭାବ ଅତି ଶକ୍ତିଶାଳୀ କ୍ଷେତ୍ରଦ୍ୱାରା ଅଭିଭୂତ ହୋଇଅଛି; ତେଣୁ n, l,



m_l, m_s କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ସେମାନଙ୍କର ଅକ୍ଷ Bକୁ ସମାନ୍ତର ଥାଇ ବ୍ୟବହାର କରି ପାରିବା । ଯେତେବେଳେ ପରମାଣୁଟି ଏହି ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କରୁ ଗୋଟିକରେ ଥାଏ, $(A_L)_z$ ଓ $(A_s)_z$ର ଏହା ପରିମାଣ ହୋଇଥାଏ,

$$(A_L)_z = M_L\hbar \quad (A_S)_z = M_S\hbar$$

ତେଣୁ

$$\mu_S = -\frac{e\hbar}{2m}(m_l + 2m_s)$$

$$= -\mu_B(m_l + m_s)$$

ଏଠାରେ $m_l = m_l + m_s$ । Bରେ ଆଉ ବୃଦ୍ଧି ହେଲେ μ_Sର ପରିବର୍ତ୍ତନ ନହେଉ ଥିବାରୁ (ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ସ୍ତରରେ) ସମୀକରଣ (୧୮·୧) ଶକ୍ତି ପାଇଁ ହବ

$$E = E_0 + \mu_B B\,(m_l + m_s) \qquad (୧୮·୧୩)$$

ଏଠାରେ $m_l + m_s$ ସର୍ବଦା ଗୋଟିଏ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ବା ଶୂନ୍ୟ ।

ସମୀକରଣ (୧୮·୧୩)ରୁ ଆମେ ଦେଖୁଛେ ଯେ, E_0 ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ମୂଳ ରେଖାକୁ ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ର ବହୁ ଚୁମ୍ବକୀୟ ସ୍ତରରେ ଭାଗ କରିଥାଏ, ପ୍ରତ୍ୟେକଟି $m_l + m_s$ର ଗୋଟିଏ ମୂଲ୍ୟଦ୍ୱାରା ଜଣାଯାଇଥାଏ । ଚିତ୍ର ୧୮·୪ରେ ଗୋଟିଏ ଉଦାହରଣ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଯେହେତୁ $m_l + m_s$ର ମୂଲ୍ୟ $l+1$ ଠାରୁ $-(l+1)$ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଯେକୌଣସି ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ହୋଇପାରିବ ($l+1$ ହେବାବେଳେ $m_l = l$ ଓ $m_s = \frac{1}{2}$ ହେବ); କିନ୍ତୁ ଯଦି $l = 0$ ହୁଏ, ସେତେବେଳେ କେବଳ ଦୁଇଟି ସ୍ତର ରହିବ ଏବଂ ତାର $m_l + m_s$ ± 1 ହେବ । କେବଳ ତଳ ଦୁଇଟି ଓ ଉପର ଦୁଇଟି ଛଡ଼ା ଅନ୍ୟସବୁ ସ୍ତର ଯୋଡ଼ ଯୋଡ଼ । ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ସମଦୂରରେ ରହିଥାଏ, ଶକ୍ତିରେ ତାରତମ୍ୟ $\mu_B B$ ହୋଇଥାଏ । ଏପରି ଦୁଇଟି ଶକ୍ତି ସ୍ତରର ଅବସ୍ଥା ମଧ୍ୟରେ ବର୍ତ୍ତମାନ ସଂକ୍ରମଣ ବିଷୟର ବିଚାର କରିବା । $\Delta l = \pm 1$ ଛଡ଼ା ବର୍ଣ୍ଣ ନିୟମ ଭାବରେ ଆମର ଅଛି,

$$\Delta m_l = 0, \pm 1 \qquad \Delta m_s = 0$$

ଚିତ୍ର ୧୮·୪ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଥିବା ଅନୁମିତ ସଂକ୍ରମଣଗୁଡ଼ିକ ସାଧାରଣ ଜେମାନ ବିଧାର ଦେଇଥାଏ, ଯେଉଁଥିରେ

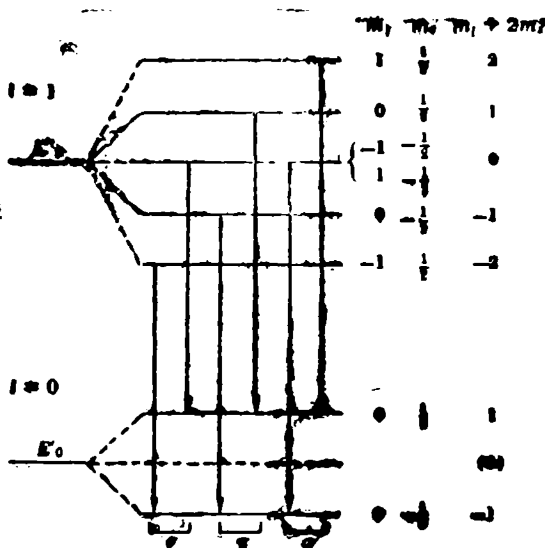
π ପାର୍ଶ୍ୱୀକରଣ ପାଇଁ $\Delta m_l = 0 \quad \nu = \nu_0$ ଏବଂ

σ ପାର୍ଶ୍ୱୀକରଣ ପାଇଁ $\Delta m_l = \pm 1 \quad \nu = \nu_0 \pm \frac{\mu_B B}{h}$ ଏବଂ ।

ଶେଷରେ, ବୁଝାଯାଇପାରେ ଯେ, ଗୋଟିଏ ଅତି ଶକ୍ତିଶାଳୀ କ୍ଷେତ୍ରରେ, ଯାହା ରଖ ଭାବରେ, ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁର ଚୁମ୍ବକୀୟ କ୍ଷେତ୍ର ଅ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ହୁଏ ଏବଂ E_0 $\mu_B B$ ଆଉ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହୁଏନାହିଁ । ସେତେବେଳେ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ କେତେଗୁଡ଼ିଏ ଚୁମ୍ବକ ସ୍ଥିର ଦ୍ୱାରା ଯୋଡ଼ା ହେଲ ପରି କାର୍ଯ୍ୟ କରନ୍ତି । ସେତେବେଳେ ଏପରି ଏକ ଯୌଗିକ ଚୁମ୍ବକକୁ ତା'ର ଦଗରେ କୌଣସି ପରିବର୍ତ୍ତନ ନକରି ଯେଉଁଠାରେ କ୍ଷେତ୍ର Bର ପରିମାଣରେ dB

ଅଧିକ, ସେଠାକୁ ନେବାପାଇଁ $dE = -\mu_s dB$ କାର୍ଯ୍ୟ କରିବାର ହୋଇଥାଏ । ତେଣୁ μ_a, B ଓ ଶକ୍ତି E ମଧ୍ୟରେ ସାଧାରଣ ସମ୍ବନ୍ଧ ହେଲା

$$\mu_{eff} = -\frac{dE}{dB} \qquad (୧୮·୧୪)$$



।ଚିତ୍ର ୧୮·୯ ଗୋଟିଏ ଅତି ଶକ୍ତିଶାଳୀ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନପାଇଁ ଶକ୍ତିସ୍ତରସବୁ । ଏକା ν ଦେଉଥିବା ସଂକ୍ରମଣଗୁଡ଼ିକ ବନ୍ଧନୀ ମଧ୍ୟରେ ଅଛି ।

18·7 ଷ୍ଟର୍ଣ୍ଣ–ଗେର୍ଲାକ୍ ପରୀକ୍ଷା :

ପାରମାଣବିକ ଚୌମ୍ବିକ ସବେଗଗୁଡ଼ିକର ସ୍ଥାନ କ୍ୱାଣ୍ଟୀକରଣ, ପୂର୍ବତନ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ତତ୍ତ୍ୱ ଓ ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଉଭୟର ସ୍ୱଧର୍ମସୂଚକ ଗୁଣଯବୁ ନେଇଥାଏ । ଯେଉଁ ପରୀକ୍ଷା ସ୍ଥାନ କ୍ୱାଣ୍ଟୀକରଣକୁ ସିଧାସଳଖ ଭାବରେ ଦେଖାଇ ଦେଇଥିଲା, ତାହା 1921 ମସିହାରେ ଓ ଷ୍ଟର୍ଣ୍ଣ ପ୍ରସ୍ତାବ କରିଥିଲେ । ସେ ପରୀକ୍ଷା ଗେର୍ଲାକ୍ଙ୍କ ସହ କରାଯାଇଥିଲା ।

ଯେଉଁ ଦଗରେ ଗଠ କରେ ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକର ଚୁମ୍ବକୀୟ ଅକ୍ଷ ଦଗରେ ଚୁମ୍ବକୀୟ ଫ୍ଲକ୍ସ ଅଧିକ ହୁଏ, ଚୁମ୍ବକଟିର ସେହି ଦଗରେ ଗଠ କରିବାର ପ୍ରବୃତ୍ତି ହୁଏ। ଗୋଟିଏ ସମକ୍ଷେତ୍ରରେ ଏହା ଜଳର କ୍ଷେତ୍ରର ଦଗରେ ଚୁମ୍ବକଟିକୁ ରଖିବାପାଇଁ ଚୁମ୍ବକଟି ଗୋଟିଏ ଟର୍କ ଅନୁଭବ କରିଥାଏ; କିନ୍ତୁ, ଗୋଟିଏ ଅସମକ୍ଷେତ୍ରରେ ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକ ଗୋଟିଏ ସ୍ଥାନାନ୍ତରଣ ବଳ $\vec{F} = \mu \cdot \nabla \vec{B}$ ଅନୁଭବ କରିଥାଏ।

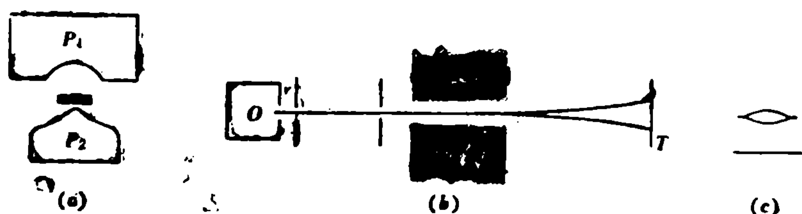
ମନେକର ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ଥିବା ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ରରେ x ଅକ୍ଷର ଦଗରେ ଗଠ କରୁଅଛୁ । ଏହି କ୍ଷେତ୍ରର ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ମୋଟାମୋଟି y ଅକ୍ଷକୁ ସମାନ୍ତର ହୋଇ ରହିଅଛୁ ଓ ଏହାର ପରିମାଣ $+y$ ଦଗରେ କ୍ଷିପ୍ର ଗଠରେ କମି କମି ଯାଉଅଛୁ । ଏ କ୍ଷେତ୍ର ଦେଇ ଗିବା ପରେ, କ୍ଷେତ୍ରର ଦଗରେ ଚୁମ୍ବକୀୟ ଅଘୂର୍ଣ୍ଣର ଗୋଟିଏ ସଂଯୋଜକ ଥିବା ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ବିକ୍ଷେପିତ ହୁଅନ୍ତି । ଯଦ ଅଘୂର୍ଣ୍ଣର ସଂଯୋଜକର ଦଗ କ୍ଷେତ୍ରର ଦଗ ସହ ସମାନ ହୁଏ, ସେଗୁଡ଼ିକ $-y$ ଆଡ଼କୁ ବିକ୍ଷେପିତ ହେବେ; ଯଦ ଏହାର ଦଗ ବିପରୀତ ହୁଏ, ତେବେ $+y$ ଆଡ଼କୁ ବିକ୍ଷେପିତ ହେବ।

ପୁରାତନ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ, ଯେଉଁ ପରମାଣୁ ଏହାର ଚୁମ୍ବକୀୟ ଅକ୍ଷ କ୍ଷେତ୍ରକୁ θ କୋଣ କରି କ୍ଷେତ୍ର ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରବେଶ କରେ, ତା'ର ଅକ୍ଷ ସେତେବେଳେ କୋଣ θକୁ ସ୍ଥିର ରଖି କ୍ଷେତ୍ର ଚାରିପଟେ ଲାର୍ମର ପରିକ୍ରମଣ କରିବ । ଯେହେତୁ ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ θର ପ୍ରତ୍ୟେକ ମୂଲ୍ୟ ବଶିଷ୍ଟ ପରମାଣୁ ମିଳିବେ, ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ବିକ୍ଷେପଣ ଅବଚ୍ଛିନ୍ନ ଭାବରେ ବାଣ୍ଟି ହୋଇଯିବ ଏବଂ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁରେ ଗୋଟିଏ ସ୍ପ୍ରେଡ ଚିହ୍ନ କରିବ ଗୋଟିଏ ଅବଚ୍ଛିନ୍ନ ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ ଟାଣି ହୋଇଯିବେ । କ୍ୱାଣ୍ଟମ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ, ଅନ୍ୟ ପକ୍ଷରେ, ପ୍ରତି ପରମାଣୁ କ୍ଷେତ୍ର ମଧ୍ୟରେ କୌଣସି ଏକ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାରେ ପ୍ରବେଶ କରିବ। ଏହି ଅବସ୍ଥା କ୍ଷେତ୍ରର ଦଗକୁ ଅକ୍ଷ ନେଇ ସ୍ଥିର ହୋଇଥିବ। କ୍ଷେତ୍ରର ଦଗରେ ଏହାର ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ gM_J ବୋର୍ ମାଗ୍ନେଟନ ହେବ (ଯଦ କ୍ଷେତ୍ରଟି ଅତି ଶକ୍ତିଶାଳୀ ନହୁଏ) । ତେଣୁ, ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛଟି ବିଭିନ୍ନ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛରେ ଭାଙ୍ଗି ଯିବ ଓ ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁରେ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ଗୋଟିଏ ଶ୍ରେଣୀର ଚିହ୍ନ କରିବ । m_Jର ପ୍ରତି ସମ୍ଭାବ୍ୟ ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ଚିହ୍ନ ହେବ।

ଷ୍ଟର୍ଣ୍ଣ ଓ ଗେର୍‌ଲାକ୍‌ଙ୍କ ପରୀକ୍ଷାରେ ବ୍ୟବହୃତ ବ୍ୟବସ୍ଥା ଚିତ୍ର ୧୮.୧୦ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ମେରୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ କ୍ଷେତ୍ରଟି ଅସମାଙ୍ଗୀ । ଏ ଦୁଇ ମେରୁରୁ ଗୋଟିକର ଅଗ୍ରଭାଗ ସୂକ୍ଷ୍ମ, ତା ଫଳରେ ଏହା ନିକଟରେ କ୍ଷେତ୍ର ଅନ୍ୟସ୍ଥାନ ଅପେକ୍ଷା ବହୁ ପରିମାଣରେ ଶକ୍ତିଶାଳୀ । ସିଲ୍‌ଭର ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ଗୋଟିଏ ଫିତା ଆକାରର ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ଗୋଟିଏ ଉତ୍ତପ୍ତ ଚୁଲ୍ଲୀ ଠାରେ ବାଷ୍ପୀକରଣ ଦ୍ୱାରା ସୃଷ୍ଟି କରାଯାଏ ଏବଂ ବାଷ୍ପରୁ ପରମାଣୁ-ଗୁଡ଼ିକୁ ସରଳୀକୃତ ଛିଦ୍ରମାନଙ୍କ ବାହାର କରାଯାଏ; ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛଟି (ଚିତ୍ର ୧୮.୧୦କରେ ସ୍ଥୂଳ ଆବୃତକ୍ଷେତ୍ରଟି ଦ୍ୱାରା ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି) ମେରୁ P_2ର ତୀକ୍ଷ୍ଣ ଅଗ୍ରଭାଗ ନିକଟରେ ଯିବାଯାଏ ଓ Tଠାରେ ଗୋଟିଏ ପ୍ଲେଟ୍‌ରେ ସଙ୍ଗୃହୀତ ହୁଏ । କୌଣସି କ୍ଷେତ୍ର ନଥିବାବେଳେ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛଟି ପ୍ଲେଟ୍‌ରେ ଗୋଟିଏ ସରୁରେଖା ଟାଣିଦିଏ (ଚିତ୍ର ୧୮.୧୦ଗ) । ଯେତେବେଳେ ଚୁମ୍ବକକରଣ ସ୍ରୋତ ଚଳାଯାଏ, ରେଖାଟି ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନଭାବରେ ଚଉଡ଼ା ହୋଇଯାଏନାହିଁ; କିନ୍ତୁ ଦୁଇଟି ରେଖାରେ ଭାଙ୍ଗିଯାଏ । କେବଳ ଦୁଇ ମୁଣ୍ଡରେ ଏପରି ଭାଙ୍ଗେନାହିଁ, ଯେଉଁଠାରେ ତୀକ୍ଷ୍ଣ ଅଗ୍ରଭାଗଠାରୁ ଦୂରରେ ଯାଉଥିବା ପରମାଣୁମାନେ ପଡ଼ନ୍ତି-ଥାନ୍ତି । ସିଲ୍‌ଭର୍ ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ସ୍ଥାନ କ୍ୱାଣ୍ଟିକରଣ ଏହିପରି ସ୍ପଷ୍ଟ ଦେଖାଯାଇଥାଏ । ଦୁଇରେଖାର ବ୍ୟବଧାନରୁ ଓ ଚୁମ୍ବକୀୟ କ୍ଷେତ୍ର ତୀବ୍ରତାର ପ୍ରାବଣ୍ୟରୁ, ହିସାବ କରାଯାଏ ଯେ, ପ୍ରତ୍ୟେକ ସିଲ୍‌ଭର ପରମାଣୁର କ୍ଷେତ୍ରର ଦିଗରେ ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ହେଉଛି 1 ବୋର୍ ମାଗ୍ନେଟନ ।

ଏହି ଫଳସବୁ ଓ ପରେ ମିଳିଥିବା ଅନ୍ୟ ଫଳ ସବୁରୁ ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକୀର ଭବିଷ୍ୟବାଣୀ ସହିତ ମିଳିଯାଇଥାଏ । ସିଲ୍‌ଭର ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ସାଧାରଣତଃ $^2S_{\frac{1}{2}}$ ଅବସ୍ଥାରେ ଥାଏ, ଏଥିପାଇଁ $^1G=2$; ତେଣୁ ଅର୍ଦ୍ଧେକ ପରମାଣୁଙ୍କର $m_j=\frac{1}{2}$ ଓ କ୍ଷେତ୍ର ଦିଗରେ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ 1 ବୋର୍ ମାଗ୍ନେଟନ ହେବା ଉଚିତ; ଅନ୍ୟ ଅଧା ପାଇଁ $m_j=-\frac{1}{2}$ ଓ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ହେଉଛି -1 । ଟେଲରଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଓ ଲୁଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ସୋଡିୟମ ଓ ପଟାସିୟମ୍ ପାଇଁ ଏହିପରି ଫଳ ମିଳିଥିଲା । ଏଗୁଡ଼ିକ ମଧ୍ୟ ତା'ପରି $^2S_{\frac{1}{2}}$ ଅବସ୍ଥାରେ ଥାନ୍ତି । ଜିଙ୍କ ଓ କାଡ଼ମିୟମ୍‌ର ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ଲୁଙ୍କ ପରୀକ୍ଷାରେ ଚୁମ୍ବକୀୟ କ୍ଷେତ୍ରଦ୍ୱାରା ପ୍ରଭାବିତ ହୁଅନ୍ତିନାହିଁ । ଥାଲିୟମ୍‌ର ପରମାଣୁ $\frac{1}{3}$ ମାଗ୍ନେଟନର ଆଘୂର୍ଣ୍ଣର ଅନୁସାରେ ଦ୍ୱିରେଖା ଦେଇଥାଏ । ସାଧାରଣତଃ ଜିଙ୍କ ଓ କାଡ଼ମିୟମ୍ $^1S_0$ ଅବସ୍ଥାରେ ଥାନ୍ତି, ଏଥିରେ $M=0$ ଓ କୌଣସି

ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ନଥାଏ । ଥାଲିୟମ୍ ପାଇଁ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରୋସ୍କୋପୀ ପ୍ରମାଣରୁ ସାଧାରଣ ଅବସ୍ଥା ହେଉଛି $^2P_{\frac{1}{2}}$; ତେଣୁ $m_j = \frac{1}{2}$ ବା $-\frac{1}{2}$ ଏବଂ $g = \frac{2}{3}$ ।



[ଚିତ୍ର ୧୮·୧୦ ଷ୍ଟର୍ଣ୍ଣ-ଗାର୍ଲାକ୍ ପରୀକ୍ଷା, (କ) ମେରୁମାନଙ୍କର ମୋଟାମୋଟି ପ୍ରଚ୍ଛେଦ, (ଖ) ଆୟନମାନଙ୍କର ଗତିପଥ ଓ (ଗ) ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁ ଉପରେ ଦାଗ ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ର ଥାଇ (ଉପର) ଓ ନଥାଇ (ତଳ)]

18·8 ଆଇସୋଟୋପ୍ ଗଠନ ପରସୂକ୍ଷ୍ମ ଗଠନ :

ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-କକ୍ଷୀୟ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଫଳରେ ହେଉଥିବା ସାଧାରଣ ସୂକ୍ଷ୍ମଗଠନ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ରେଖାମାନଙ୍କର ସୂକ୍ଷ୍ମତାକୁ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ଭାବରେ ବୁଝାଇବା ସମ୍ଭବ ହୋଇ ନପାରେ । ଏପରିକି 1900 ପୂର୍ବରୁ, ବ୍ୟତିକରଣମାପକ ସାହାଯ୍ୟରେ ଦେଖାଇଥିଲେ ଯେ, ଏହା ଅପେକ୍ଷା ଆହୁରି ବହୁ ସୂକ୍ଷ୍ମ ଗଠନ ରହିଅଛି, ଏହା ପରସୂକ୍ଷ୍ମଗଠନ ଭାବରେ ପରିଚିତ ହୋଇଥିଲା ।

ଆଇସୋଟୋପ୍‌ମାନଙ୍କର ଆବିଷ୍କାର ପରେ, କେତେକ ସମୟ ପାଇଁ ବିଶ୍ୱାସ କରାଯାଇଥିଲା ଯେ, ରେଖାମାନଙ୍କର ପର ସୂକ୍ଷ୍ମ ବିନ୍ୟାସର ପ୍ରତ୍ୟେକ ସଘଟକ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ଆଇସୋଟୋପ ଦ୍ୱାରା ବିକଶିତ ହୋଇଥାଏ । ପରେ, ଗୋଟିଏ ଆଇସୋଟୋପ୍ ବିଶିଷ୍ଟ କେତେକ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥର ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମରେ ରେଖାମାନଙ୍କର ପରସୂକ୍ଷ୍ମ ଗଠନ ଦେଖାଗଲା । ବିସ୍‌ମଥ ଏହାର ଏକ ଉଦାହରଣ; $\lambda 3596A^\circ$ ରେଖାଟିରେ ଛଅଟି ପରସୂକ୍ଷ୍ମ ସଘଟକ ଅଛି । ଏଗୁଡ଼ିକ $0{\cdot}3A^\circ$ ବା $2{\cdot}3cm^{-1}$ ପରିସର ମଧ୍ୟରେ ବ୍ୟାପି ରହିଅଛି । 1924ରେ ପାଉଲି ପ୍ରସ୍ତାବ ଦେଇଥିଲେ ଯେ ଏପରି ପ୍ରଭାବ ଦେଖାଯିବାର କାରଣ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର

ଭୌଣିକ ଘଟେର ରହିଅଛି ଓ ଏଥିସଙ୍ଗେ ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ରହିଅଛି । ବର୍ତ୍ତମାନ ଗୋଟିଏ ପ୍ରବୃତ୍ତି ହେଉଛି ଯେ, 'ଘଣସୂକ୍ଷ୍ମ ଗଠନ' ଶବ୍ଦଟି ଗୋଟିଏ ଆଇସୋଟୋପରୁ ମିଳୁଥିବା ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମକୁ ସୀମିତ କରିବା ଏବଂ ଏହି ପ୍ରଭାବକୁ "ଆଇସୋଟୋପ ଗଠନ" ବୋଲି ନାମ କରିବା । କେତେଗୁଡ଼ିଏ ଆଇସୋଟୋପ୍ ମିଶ୍ରଣ ରହିଥିଲେ, ତା'ର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ, ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ପ୍ରକାରର ଉପସ୍ଥାପିତ ହୋଇ ରହିପାରେ ।

ଲଘୁ ପରମାଣୁମାନଙ୍କରେ ଆଇସୋଟୋପ୍ ବିସ୍ଥାପନ ରିଡ୍‌ବର୍ଗ ସ୍ଥିର ଗଠନରେ ସାମାନ୍ୟ ପରିବର୍ତ୍ତନରୁ ଘଟିପାରେ । ସରଳତମ ଘଟଣା ହେଲା ହାଇଡ୍ରୋଜେନ୍, ଏଥିରେ ଆଇସୋଟୋପ୍ ବିସ୍ଥାପନରୁ ୟୁରେ ଓ ତାଙ୍କର ସହକର୍ମୀମାନେ ଗୁରୁହାଇଡ୍ରୋଜେନ ବା ଡ୍ୟୁଟେରିୟମ୍ ଆବିଷ୍କାର କରିଥିଲେ । ଦୁଇପ୍ରକାରର ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁଙ୍କର ରିଡ୍‌ବର୍ଗ ଧ୍ରୁବଗୁଡ଼ିକ $m = m_1$ ଓ $m = 2m_1$ ଉଭୟେଙ୍କର ସ୍ଥଳରେ ସମୀକରଣ (୯.୧୨)ରେ ବସାଇ ଓ $R = \frac{m_r e^4}{8\epsilon_0^2 h^3 c}$ ବ୍ୟବହାର କରି ପାଇ ପାରିବା ।

$$R_1 = \frac{M_1 R_\infty}{M_1 + m} \quad R_2 = \frac{2M_1 R_\infty}{2M_1 - m}$$

M_1 ହେଲା ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଓ m ହେଲା ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ବସ୍ତୁତ୍ୱ । ଗୋଟିଏ ଦତ୍ତ ରେଖା (λ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ) ପାଇଁ ସେତେବେଳେ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟରେ ତାରତମ୍ୟ ହେବ,

$$\Delta\lambda = -\frac{\lambda (R_2 - R_1)}{R_\infty} = -\frac{\lambda m}{2m_1}$$

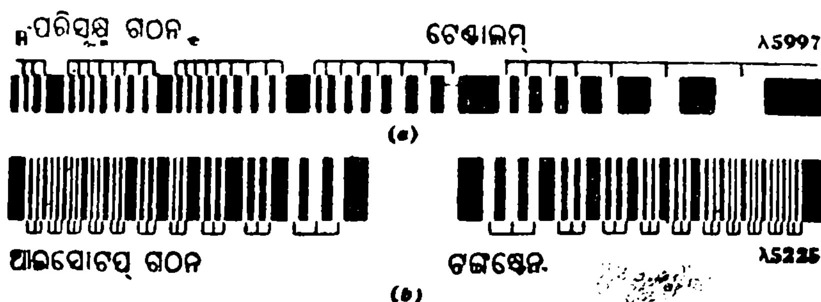
$M_1/m = 1{,}836$ ହୋଇଥିବାରୁ ଡିଉଟେରିୟମ୍ ପାଇଁ $H\beta$ ରେଖା 4861/3·672 $= 1{\cdot}32\text{A}^\circ$ ସାଧାରଣ ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ବାଇଗେଣୀ ପଟକୁ ରହିବ । ଗୋଟିଏ ସାଧାରଣ ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ସାମ୍ପଲ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ଏହି ରେଖାଟି ଅଣା କରାଯାଉଥିବା ସ୍ଥାନରେ ଅଳ୍ପ ପରିମାଣରେ ଦେଖାଗଲା; ଡିଉଟେରିୟମର ଅପେକ୍ଷିତ ପରିମାଣ ବଢ଼ାଗଲେ ଏହା ତୀବ୍ରତାରେ ବଢ଼ିଥାଏ ।

ଗୋଟିଏ ଗୁରୁ ପରମାଣୁର ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମରେ ସାଧାରଣତଃ ସ୍ୱଳ୍ପରେ ଆଇସୋଟୋପ ବିସ୍ଥାପନ ପାରମାଣବିକ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ପ୍ରତି ଆନୁପାତିକ ଭାବରେ ଦେଖାଯାଇଥାଏ । ୧୯୩୨ ୧୮୯୯ରେ ଏପରି ଏକ ଗଠନ ଟଙ୍ଗଷ୍ଟନ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଛି । ଗୋଟିଏ ଫେବ୍ରିପେରୋଟ ଇଣ୍ଟାଲନରେ ଏହି ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମରେ ଗଠିତ ହୋଇଥିଲ; ତେଣୁ ଏହା ଅନ୍ୟାସ ବଢ଼ିଥିବା ସମରେ ବହୁବାର ଦେଖାଯାଇଅଛି । ଟଙ୍ଗଷ୍ଟନରେ ପ୍ରଧାନତଃ ଚାରୋଟି ଆଇସୋଟୋପ ଥାଏ; ସେମାନଙ୍କର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଂଖ୍ୟା ହେଲା 182, 184 ଓ 186 ଏବଂ ଏମାନେ ଏକା ପରିମାଣରେ ଦେଖାଯାଇଥାନ୍ତି; 183ଟି ଅନ୍ୟମାନଙ୍କ-ଠାରୁ ଅନେକ ପରିମାଣରେ ରହିଥାଏ । ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ଅଧିକ ପରିମାଣରେ ମିଳୁଥିବା ଆଇସୋଟୋପଗୁଡ଼ିକୁ ସମ୍ପୃକ୍ତ କରାଯାଇଥାଏ, 183ର କିଛି ପ୍ରଭାବ ଥିଲେ ତାହା ଅନ୍ୟମାନଙ୍କର ପ୍ରଭାବ ଦ୍ୱାରା ଘୋଡ଼େଇ ହୋଇପଡ଼ୁଛି ବୋଲି ଅନୁମାନ କରାଯାଇଥାଏ ।

ଏପରି ଗୁରୁ ପରମାଣୁମାନଙ୍କରେ ଆଇସୋଟୋପ ବିସ୍ଥାପନ କେବଳ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ଗତିର ପ୍ରଭାବରେ ପ୍ରଭେଦ ଦ୍ୱାରା ସରଳ ଭାବରେ ବୁଝାଇ ହୁଏନାହିଁ । ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ଗତିର ପ୍ରଭାବ ବହୁତ କମ୍ ; ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ଓ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସରଳ କୁଲମ୍ବ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାରୁ ବ୍ୟତିକ୍ରମ ଏହାର କାରଣ, ଏହା ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଆକାର ଓ ପ୍ରକାର ସହିତ ସମ୍ପୃକ୍ତ, ଏହି ପ୍ରଭାବ ଗୋଟିଏ ଆଇସୋଟୋପରୁ ଆଉ ଗୋଟିଏ ଆଇସୋଟୋପକୁ ବଦଳି ଯାଇଥାଏ । ବହୁତ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସଙ୍କର ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଚତୁଃମେରୁ ଓ ଚୁମ୍ବକୀୟ ଦ୍ୱିମେରୁ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ରହିଅଛି ।

ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ଲାଗି ସୂକ୍ଷ୍ମ ପରିସୂକ୍ଷ୍ମ ଗଠନର ତାତ୍ତ୍ୱିକ ଆଲୋଚନା ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-କକ୍ଷୀୟ ପ୍ରଭାବ ଦ୍ୱାରା ହେଉଥିବା LS ସୂକ୍ଷ୍ମଗଠନର ଆଲୋଚନା ସହିତ ମିଳିଯାଇଥାଏ । ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର କୌଣିକ ସଂବେଗ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ମଧ୍ୟ ଏବଂ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ଉପାଦାନ ପ୍ରୋଟନ ଓ ନ୍ୟୁଟ୍ରନମାନଙ୍କ କକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗ ସହ ସମ୍ପୃକ୍ତ । ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର କୌଣିକ ସଂବେଗର କୌଣସି ଦିଗରେ ସଂଯୋଜନର ସର୍ବାଧିକ ସାମ୍ଭବ୍ୟ ମୂଲ୍ୟ Iℏ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ; ମୋଟର ବର୍ଗ ହୁଏ $I(I+1)\hbar^2$ । ଯେତେବେଳେ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଂଖ୍ୟା ଯୁଗ୍ମ ହୁଏ (ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସରେ ପ୍ରୋଟନ ଓ ନ୍ୟୁଟ୍ରନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟାକୁ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଂଖ୍ୟା କୁହାଯାଏ) ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସଂଖ୍ୟା I ସେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ ପୂର୍ଣ୍ଣ

ସଂଖ୍ୟା ବା 0 ହୁଏ ଏବଂ ଯେତେବେଳେ ଅଯୁଗ୍ମ ହୁଏ ସେତେବେଳେ ଏହା ଅର୍ଦ୍ଧ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ହୋଇଥାଏ । ଆଉ ମଧ୍ୟ ଯେତେବେଳେ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଂଖ୍ୟା ଓ ପାରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା Z



[ଚିତ୍ର ୧୮·୧୧ (କ) ଟେଣ୍ଟାଲମ୍‌ର ଗୋଟିଏ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ରେଖାରେ ପରିସୂକ୍ଷ୍ମ ଗଠନ । (ଖ) ଟଙ୍ଗଷ୍ଟନର ଗୋଟିଏ ରେଖାରେ ଆଇସୋଟୋପ ଗଠନ]

ଉଭୟ ଯୁଗ୍ମ ହୁଏ, ସେତେବେଳେ $I =$ ହୁଏ । ଯଦି $I > 0$, ସେତେବେଳେ ସାଧାରଣ ପ୍ରଣାଳୀରେ ଗୋଟିଏ ଦ୍ୱିଗୁଣସ୍ଥ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା M_I ମିଳିଥାଏ, ଏହାର ମୂଲ୍ୟ $|M_I| \leq I$ ମଧ୍ୟରେ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ତାରତମ୍ୟରେ ରହିଥାଏ, ଏହିପରି ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ଅବସ୍ଥାରେ $(2I+1)$ ଭମ ଅପବଦ୍ଧକାଶ ହୋଇଥାଏ । ପ୍ରୋଟନ ଓ ନ୍ୟୁଟ୍ରନମାନଙ୍କର $I = \frac{1}{2}$; ଟେବୁଲ ୧୮·୧ରେ Iର ଅନ୍ୟ କେତେକ ମୂଲ୍ୟ ଦିଆଯାଇଅଛି ।

ଟେବୁଲ ୧୮·୧ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଓ ଚୁମ୍ବକୀୟ ଅଘୂର୍ଣ୍ଣ

ପାରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା Z	ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ	ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଂଖ୍ୟା A	ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ	ଚୁମ୍ବକୀୟ ଅଘୂର୍ଣ୍ଣ μI ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ମାଗ୍ନେଟନ
0	*n*	1	$\frac{1}{2}$	−1·9131
1	*H*	1	$\frac{1}{2}$	2·7928
		2	1	0·8574
2	*He*	3	$\frac{1}{2}$	−2·1276
		4	0	
3	*Li*	6	1	0·8220
		7	$\frac{3}{2}$	3·2564
4	Be	9	$\frac{3}{2}$	−1·1776
5	B	10	3	1·8007
		11	$\frac{3}{2}$	2·6885
7	*N*	14	1	0·4036
		15	$\frac{1}{2}$	−0·2831
9	*F*	19	$\frac{1}{2}$	2·6287
11	*Na*	23	$\frac{3}{2}$	2·2176
13	Al	27	$\frac{5}{2}$	3·6414
21	Sc	45	$\frac{7}{2}$	4·7564
41	*Nb*	93	$\frac{9}{2}$	6·1670
47	Ag	107	$\frac{1}{2}$	−0·1135
81	Tl	203	$\frac{1}{2}$	1·6115
		205	$\frac{1}{2}$	1·6274

ଯଦି ଡିରାକ୍ କଣିକାମାନଙ୍କ ଉପରେ ଆପେକ୍ଷିକ ତତ୍ତ୍ୱ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଓ M_P ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବିଶିଷ୍ଟ ପ୍ରୋଟନ ପାଇଁ ମଧ୍ୟ ଲାଗୁ ହୁଏ, ପ୍ରୋଟନର ଡାଇରାକୀୟ ଚୁମ୍ବକୀୟ ଅଘୂର୍ଣ୍ଣ ହେବ, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ ସମୀକରଣ (୯·୨୧କ)ରେ ଦିଆଥିବା ଉତ୍ତର ଅନୁସାରେ) $e\hbar/2M_p = \mu_B/.836$, ଏଥିରେ ଚିହ୍ନ ଯୁକ୍ତ ଡିରାକ୍‌ର ପୂର୍ବାନୁମାନର ଅନୁରୂପ । ଅନୁ:୧୦·୫ରେ ଆମେ ଦେଖିଥାଉଁ ଯେ, ପ୍ରୋଟନର ଚୁମ୍ବକୀୟ ଅଘୂର୍ଣ୍ଣ 2·793 ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ମାଗ୍ନେଟନ,

କିନ୍ତୁ ନ୍ୟୁଟ୍ରନର ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ହେଲା—1·91 ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ମାଗ୍ନେଟନ 1 ସାଧାରଣ ଭାବରେ, କୌଣସି ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ପାଇଁ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ μI, କୌଣସି ଗୋଟିଏ ଦିଗର ଦଗରେ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ଆଘୂର୍ଣ୍ଣର ସଂଯୋଜକ ପାଇଁ ସର୍ବାଧିକ ମୂଲ୍ୟ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ମାଗ୍ନେଟନରେ ଦେଉଥାଏ । ସେହି ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ଅବସ୍ଥାନରେ ଗୋଟିଏ ଦତ୍ତ ଅକ୍ଷ ଦିଗପ୍ରତି କୌଣିକ ସଂବେଗ M_I ହୁଏ, ଅକ୍ଷ ଦିଗରେ ଏହାର ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣର ସଂଯୋଜକ ହେବ $(M_I/I)\mu_I$ । ଟେବୁଲ ୧୮·୧ରେ μ_Iର ମୂଲ୍ୟସବୁ ମଧ୍ୟ ଦିଆଯାଇଅଛି ।

ତେବେ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର କୌଣିକ ସଂବେଗ ଭେକ୍ଟରରୂପେ ପାରମାଣବିକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ପରିଣାମୀ କୌଣିକ ସଂବେଗ ସଙ୍ଗେ ଯୋଗ କରାଯାଇଥାଏ; ଠିକ୍ ଯେପରି କକ୍ଷୀୟ ଓ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସଂବେଗମାନଙ୍କ ପାଇଁ LS ସଂଯୋଜନା କିଆଯାଏ, ସେହିପରି ପ୍ରଣାଳୀରେ Ij ସଂଯୋଜନା କିଆଯାଇପାରେ । ଯେତେବେଳେ ଦୁର୍ବଳ ଅନ୍ୟୋନ୍ୟକ୍ରିୟା ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ଓ ପାରମାଣବିକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଦେଖାଦିଏ, ସେତେବେଳେ ଏପରି ସଂଯୋଜନା ଦରକାର ହୋଇଥାଏ । ଶେଷ ପରିଣାମୀ ସଂବେଗ ପାଇଁ ସେତେବେଳେ ଦୁଇଟି ନୂଆ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା ମିଳିଥାଏ, $F = J \oplus I$ ଓ M_F) ଏଠାରେ $|J-I| \leq F \leq J+I$ ଏବଂ $|M_F| \leq F$ ।

ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ଗତି ଓ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଏବଂ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ମଧ୍ୟରେ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଭିନ୍ନ F ଥିବା ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକୁ ସାମାନ୍ୟ ଅଲଗା କରି ଦେଇପାରେ, ସେତେବେଳେ ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକର ଅତିସୂକ୍ଷ୍ମ ବହୁଧାରଣ ସୃଷ୍ଟି ହୁଏ । ଏହି ସ୍ତରମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ହେଲା $2I+1$ ଯଦି $J \geq I$, କିନ୍ତୁ $2J+1$ ଯଦି $J<I$ । ଯଦି ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ପ୍ରକୃତରେ ଚୁମ୍ବକୀୟ ହୁଏ, LS ବହୁଧାର ପାଇଁ ସମୀକରଣ (୧୭·୯) ଓ (୧୭·୧୧)ରେ ମିଳିଥିବା ଆକାରର ସମୀକରଣ ସବୁ ମିଳିଥାଏ । L, S ଓ J ସ୍ଥାନରେ ଯଥାକ୍ରମେ J, I ଓ F କିଆଯାଏ । ବର୍ଣ୍ଣ ନିୟମ ଭାବରେ, ଅନ୍ୟମାନଙ୍କ ସାଙ୍ଗକୁ ଆମେ ପାଉ

$$\Delta F = 0 \text{ ବା } \pm 1 \qquad \Delta M_F = 0 \text{ ବା } \pm 1$$

କିନ୍ତୁ, ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ବଳଣ୍ଟ ହେଲା, ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ବୃତ୍ତପ୍ରତି ଥିବା ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ରର ଅଣସମାନତାରୁ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଜାତ ହୋଇପାରେ । ସାଧାରଣତଃ

ଏହି ଅଣସମାନତା ଚଲୁଃମେରୁ ପ୍ରକାରର ଏବଂ ଏକ୍ଷେତ୍ରରେ ସୂଚଗୁଡ଼ିକ ବେଶୀ ଜଟିଳ ।

ପରମାଣୁକ୍ଷ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ବହୁଧାର ପରସ୍ପର୍ଷୁଣ୍ଡରମାନଙ୍କରୁ· ଦୁଇଟି ସାଧାରଣ J ସ୍ତର ମଧ୍ୟରେ ସଂକ୍ରମଣରୁ ଜନ୍ମି ପାଇଥାଏ । ସାଧାରଣତଃ ଦୁଇଟି J ସ୍ତର ମଧ୍ୟରୁ ଗୋଟିକରେ ପରମାଣୁକ୍ଷ ସ୍ତରମାନଙ୍କର ଅନ୍ତର ଗୋଟିକ ଅପେକ୍ଷା ଅନ୍ୟଟିରେ ବହୁ ଅଧିକ ହୋଇଥାଏ; ତେଣୁ ପୂର୍ବୋକ୍ତ ଅନ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ବହୁଧାର ମଧ୍ୟରେ ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣଲବ୍ଧ ବୋଲି ଜଣାପଡ଼ିଥାଏ, ଅନ୍ୟ J ସ୍ତର ପାଇଁ ସୂକ୍ଷ୍ମତର ଗଠନ ବହୁ ସମୟରେ ବର୍ଜନ ହୋଇପାରେନାହିଁ । ସେତେବେଳେ ସବୁଜରେ ଚକ୍ରା ପଡ଼ୁଥିବା ପତାକା ପ୍ରକାରର ବିନ୍ୟାସ ମିଳିଥାଏ, ଚିତ୍ର ୧୮·୧୧ରେ ଏହାର ଗୋଟିଏ ଭଲ ଉଦାହରଣ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି ।

ଏ ତତ୍ତ୍ୱର ଏକ ଉଦାହରଣ ହିସାବରେ, ନିମ୍ନୋକ୍ତ ଦ୍ୱିଧାରଟି ଥାଲିୟମର (S, J I)ର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରରେ ନକ୍ସର କର ।

$6s^2 7s\ ^2S_{\frac{1}{2}} \leftarrow 6s^2 6p^2\ ^2P_{\frac{1}{2}}$ $\lambda = 3777 A^\circ$

$\bar{\nu} = 26478\ cm^{-1}$

$6s^2 7s\ ^2S_{\frac{1}{2}} \leftarrow 6s^2 6p\ ^2P_{\frac{3}{2}}$ $\lambda = 5352\ A^\circ$

$\bar{\nu} = 18684\ cm^{-1}$

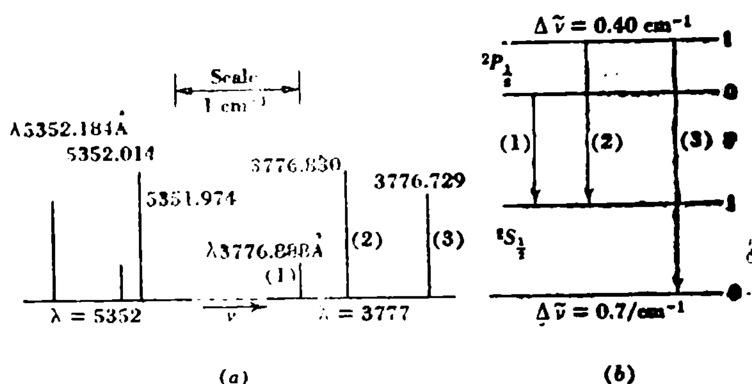
ଅଧିକ ବର୍ଦ୍ଧନରେ ଏହି ଦ୍ୱିଧାରର ପ୍ରତ୍ୟେକ ରେଖା ଦୁଇଟି ସଂଯୋଜକରେ ଗଠିତ ହୋଇଥିବାର ଦେଖାଯାଏ । ସେମାନଙ୍କର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ, ହିସାବରୁ ମିଳିଥିବା ତୀବ୍ରତା ଓ ଗୋଟିଏ ଶୂନ୍ୟ ସ୍ତରରେ ଆପେକ୍ଷିକ ଅବସ୍ଥାନ ଚିତ୍ର ୧୮·୧୨ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି ।

ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣଲବ୍ଧ ଦୁଇ ସଂଯୋଜକ ବିଶିଷ୍ଟ ରେଖାଠାରୁ ଉତ୍ପନ୍ନ କରିବାପାଇଁ ପ୍ରତି J ସ୍ତରରେ ଦୁଇଟି ପରମାଣୁକ୍ଷ ଉପସ୍ତର ରହିବା ଦରକାର । ଏଠି ମେ ଥାଲିୟମ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ପାଇଁ $2 = 2I + 1$ ଏବଂ ସେଥିପାଇଁ $I = \frac{1}{2}$ ।

ତେଣୁ $J = \frac{1}{2}$ ପାଇଁ, $F = I \pm \frac{1}{2}$ ବା $F = 1$ ବା 0

$J = \frac{1}{2}$ ପାଇଁ, $F = 2$ ବା 1, ଅତିସୂକ୍ଷ୍ମ ସ୍ତରମାନଙ୍କର ଅନ୍ତର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ଅନ୍ତରମାନଙ୍କରୁ ସହଜରେ ସ୍ଥିର କରାଯାଇପାରିବ । ସ୍ତରମାନଙ୍କର ଚିତ୍ର ଓ ଦ୍ୱିଧାରର ଯୋଗିଏ ରେଖାପାଇଁ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର ସୂକ୍ଷ୍ମଗଠନ ଚିତ୍ର ୧୮·୧୨ଖ ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଛି । ଯଦି ଦ୍ୱିଧାରର ଅନ୍ତର ସବୁ ପରସ୍ପର ମଧ୍ୟରେ ବଦଳାଇ ଦିଆଯାଏ, ଏହି ଏକା ପ୍ରକାରର ବିନ୍ୟାସ ମିଳିବ; କିନ୍ତୁ ଅତିସୂକ୍ଷ୍ମ ସଂଯୋଜକ ପାଇଁ ଉମାନ ବିନ୍ୟାସ ଶକ୍ତି ତାରତମ୍ୟ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟଭାବେ ସ୍ଥିର କରି ଦେଇ ପାରିବ ।

ଅତିସୂକ୍ଷ୍ମ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ I ଓ μ_Iର ମୂଲ୍ୟମାନଙ୍କ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଜାଣିବାର ଏକ ପ୍ରଧାନ ଉତ୍ସ । କିନ୍ତୁ μ_I ବାହାର କରିବାପାଇଁ ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ହିସାବ ଦରକାର ହୋଇଥାଏ, କେବଳ ଲଘୁ ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଏପରି ହିସାବ ଅତି ସହଜ । μ_Iର ଚିହ୍ନ F ସ୍ତରମାନଙ୍କର କ୍ରମକୁ ପ୍ରଭାବିତ କରିଥାଏ; ଅତି ସାଧାରଣ ଭାବରେ, ଯେତେବେଳେ $\mu_I > 0$, ଅଧିକ F ଯୁକ୍ତ ସ୍ତରସବୁ ସ୍ୱଳ୍ପ F ଯୁକ୍ତ ସ୍ତରମାନଙ୍କର ଉପରେ ରହିଥାଏ ଏବଂ $\mu_I < 0$ ହେଲେ ଏହାର ବିପରୀତ ହୁଏ ।



[ଚିତ୍ର ୧୮·୧୨ (କ) ଥାଲିୟମ ଦ୍ୱିଧାରର ଅତିସୂକ୍ଷ୍ମ ଗଠନ; λ = 5352 ଓ 3777A° (ଖ) 3777A° ଥାଲିୟମ ରେଖାପାଇଁ ଶକ୍ତିସ୍ତର ସବୁ ଓ ସଂକ୍ରମଣ]

ଆଉ ମଧ୍ୟ ନିଉକ୍ଲିୟସ୍‌ର ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଗୋଲକାକାର ସାମଞ୍ଜସ୍ୟରୁ ସାମାନ୍ୟ ବ୍ୟତିକ୍ରମକୁ ଜାତ ବୋଲି ମନେ କରାଯାଉଥିବା କେତେକ ଜଟିଳତା ବସ୍ତୁ

ସମସ୍ତରେ ଦେଖା ଦେଇଥାଏ । ବିଶେଷତଃ ନିଉକ୍ଲିୟସରେ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଚତୁଃମେରୁ ଅଘୂର୍ଣ୍ଣ ନେଇ ବର୍ଣ୍ଣନା କରାଯାଉଥିବା କ୍ୟୁଡିକ୍ରମ ଏଥିରୁ ଗୋଟିଏ । ଯଦି $I > \frac{1}{2}$, ଏପରି ଏକ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ପରିସ୍ପନ୍ଦ ବିନ୍ୟାସରେ ଅଳ୍ପ, ଅଦ୍ଭୁତ ଆଲୋଡ଼ନ ସୃଷ୍ଟି କରିବ; ଏହା ଏପରିକି କୌଣସି ପରିସ୍ପନ୍ଦ ବିଭାଜନର ଏକମାତ୍ର କାରଣ ହୋଇପାରେ ।

18·9 ଷ୍ଟାର୍କ ପ୍ରଭାବ :

ଗୋଟିଏ ବାହ୍ୟ ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ର ମଧ୍ୟ ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁର କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥା-ଗୁଡ଼ିକୁ ପରିବର୍ତ୍ତିତ କରି ଦେଇପାରେ, ଯେଉଁ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ଆଗରୁ ଅପ୍ରବିକର୍ଷିତ ହୋଇଥିଲେ, ସେଗୁଡ଼ିକୁ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର କରି ଦେଇପାରେ । ଏହି ପ୍ରଭାବ 1913 ମସିହାରେ ଷ୍ଟାର୍କ ଆବିଷ୍କାର କରିଥିଲେ । ସେ ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ବାମର ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ବିଭାଜନ ଲକ୍ଷ୍ୟ କରିଥିଲେ । ଯେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁ ଗୋଟିଏ ସମାଙ୍ଗୀ ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ର $\vec{E}$ରେ ରହିଥାଏ ($\vec{E}$ର ଦିଗ z ଦିଗ ସ୍ଥିର କରି ଦେଇଥାଏ) ସେତେବେଳେ ଶ୍ରୁଡ଼ିଙ୍ଗରଙ୍କ ସମୀକରଣର ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ପଦରେ କୁଲମ୍ବ ଶକ୍ତି ସଙ୍ଗେ $-eEz$ ଆଲୋଡ଼ନ ଶକ୍ତି ଯୋଗ କରାଯାଏ । ଏହା ଫଳରେ ଶକ୍ତି $-eE\langle z\rangle$ରେ ପ୍ରଥମ କୋଟୀର ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୋଇଥାଏ, ଏଠାରେ $\langle z\rangle$ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ 'କକ୍ଷ' ଓ ତା'ର ଅଣକେନ୍ଦ୍ରୀସ୍ୱଭାବରେ ନିର୍ଭର କରିଥାଏ । ଏ ହିସାବଟିର ବହିର୍ଭୂତ ଅଂଶ ଜଟିଳ, କିନ୍ତୁ ସେଥିରୁ ମିଳେ ଯେ, ଯେତେବେଳେ $\vec{E}$ ଏତେ ଦୁର୍ବଳ ହୁଏ ଯେ ଏହାର ପ୍ରଭାବ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କକ୍ଷୀୟ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାଠାରୁ କମିଯାଏ, ପ୍ରତ୍ୟେକ ସ୍ତର $2n-1$ ବିଭିନ୍ନ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ସଂଯୋଜକରେ ଭାଙ୍ଗିଯାଏ; ଏଠାରେ n ହେଉଛି ମୁଖ୍ୟ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା । ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ର ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ଦେଇ କାର୍ଯ୍ୟ କରେନାହିଁ ଏବଂ ପ୍ରତି ହଳ ପ୍ରତି ଜମାନ ସ୍ତର m_l ଓ $-m_l$ଙ୍କର ଏକା ଶକ୍ତି ଥାଏ । $+m_l$ ଓ $-m_l$ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକର ଏକା ସ୍ୱର୍ଗ ବଣ୍ଟନ ଅନୁସାରେ ହୋଇଥାଏ, ତେଣୁ ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଶକ୍ତିରେ ଏକା ପରିମାଣର ବିସ୍ଥାପନ ହେବ ।

ଦୁର୍ବଳ କ୍ଷେତ୍ରମାନଙ୍କ ପାଇଁ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ରେଖାମାନଙ୍କର ଷ୍ଟାର୍କ ବିଭାଜନରୁ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ବିନ୍ୟାସ ମିଳିଥାଏ ଏବଂ ରେଖାମାନଙ୍କର ଅବସ୍ଥାନ Eକୁ ଅନୁପାତୀ ହୋଇଥାଏ । ଏହି ଅବସ୍ଥା ସରଳରୈଖିକ ବା ପ୍ରଥମ-କୋଟୀ ଷ୍ଟାର୍କ ପ୍ରଭାବ ସବୁରେ ପରିଚିତ । ଯେତେବେଳେ E $10^7 W/m$ଠାରୁ ଅଧିକ ହୁଏ, ସେତେବେଳେ ରେଖା ବିନ୍ୟାସରେ E^2କୁ ଅନୁପାତୀ ବିସ୍ଥାପନ ଦେଖାଯାଇଥାଏ ଏବଂ ଆମେ ଦ୍ୱିତୀୟକୋଟୀୟ ଷ୍ଟାର୍କ ପ୍ରଭାବ କଥା କହିଥାଉ । ଏହାର ଗୋଟିଏ ଗୁଣାତ୍ମକ ବର୍ଣ୍ଣନା ହେଲା, ଶକ୍ତିଶାଳୀ କ୍ଷେତ୍ରର ପ୍ରଭାବରେ ପରମାଣୁଟି ପାର୍ଶ୍ୱୀକୃତ ହୋଇଯାଏ, ତେଣୁ Eକୁ ଅନୁପାତୀ ଏହାର ଗୋଟିଏ ପ୍ରେରିତ ଦ୍ୱିମେରୁ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ଜନ୍ମେ । ପରେ ଏହି ଦ୍ୱିମେରୁରେ ଟର୍କ ଦ୍ୱିମେରୁ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣର E ଗୁଣ ବା E^2କୁ ଅନୁପାତୀ ହୁଏ ।

ବହୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ କକ୍ଷମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଷ୍ଟାର୍କ ପ୍ରଭାବ ଆହୁରି ଅଧିକ ଜଟିଳ ହୁଏ । ବର୍ଜ୍ୟ ନିୟମ $\Delta l = \pm 1$ ଅଛି ଦରକାର ହୁଏନାହିଁ ଓ ଅନେକ ନୂତନ ରେଖା ଦେଖା ଦିଏ । ଏଗୁଡ଼ିକ $\Delta l = 0, \pm 2, \pm 3$ ଇତ୍ୟାଦିର ଅନୁସାରୀ । ଭେଦଦାୟ କକ୍ଷମାନଙ୍କ ପାଇଁ କୌଣସି ସରଳ ରୈଖିକ ପ୍ରଭାବ ଦେଖାଯାଏନାହିଁ; କାରଣ କ୍ଷେତ୍ରର ପ୍ରେରିତ ଦ୍ୱିମେରୁ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ସହ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାଫଳରେ ଦ୍ୱିଘାତୀ ଷ୍ଟାର୍କ ପ୍ରଭାବ ଦେଖାଦିଏ ।

ପ୍ରଶ୍ନାବଳୀ

୧ । ମର୍କରି 1·49·6A° ରେଖାଠାରୁ ($6s^2\ ^1S_0 \leftarrow 6s6p\ ^1P_1$) $2Wb/m^2$ର କ୍ଷେତ୍ରରେ ଦୁଇ ବାହ୍ୟ ଜମାନ ସଂଯୋଜକଙ୍କର A°ରେ ବିସ୍ଥାପନ ହିସାବ କର ।

ଉତ୍ତର : 0·032 A°

୨ । (କ) ଗୋଟିଏ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଆଲୁମିନିୟମ ପରମାଣୁର ଭୂମ୍ୟବସ୍ଥାରେ ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ପରମାଣୁର ଭେକ୍ଟର ମଡ଼େଲ ବ୍ୟବହାର କରି ହିସାବ କର । ଏହି ମୂଲ୍ୟର μ_1 ସହିତ କି ଅନୁପାତ ?

(ଖ) ଗୋଟିଏ ଫ୍ଲୋରିନ ପରମାଣୁ ପାଇଁ ସେହି ହିସାବ କର ।

୩ । ଦୁର୍ବଳକ୍ଷେତ୍ର ଜମାନ ବିଭାଜନ $^3S_1 \leftarrow {}^3P_1$ ସଂକ୍ରମଣରୁ ଜାତ ଗୋଟିଏ ରେଖା ପାଇଁ ସାଧାରଣ ଜମାନ ବିଭାଜନ ଅନୁସାରେ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

ଉତ୍ତର : πରେଖାଗୁଡ଼ିକ ±0·5ରେ; σ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ±1·5, ±2ରେ ।

୪ । $^2P_{\frac{1}{2}} \leftarrow {}^2D_{\frac{3}{2}}$ ସଂକ୍ରମଣ ପାଇଁ, ଦୁର୍ବଳ କ୍ଷେତ୍ର ଜମାନ ବିନ୍ୟାସ ସାଧାରଣ ଜମାନ ବ୍ୟବଧାନର ବାହାର କର । ଚିତ୍ର ୧୮·୫ ପରି ଗୋଟିଏ ଚିତ୍ର କରି ରେଖାଗୁଡ଼ିକଙ୍କର ଅବସ୍ଥାନ ଓ ପାର୍ଶ୍ୱୀକରଣ ଦେଖାଅ (କିନ୍ତୁ ଆପେକ୍ଷିକ ତୀବ୍ରତା ନୁହେଁ) ।

୫ । ଜିଙ୍କର ତ୍ରିଧାର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ $^3P_0 \leftarrow {}^3S_1$ରୁ ଜାତ ତୀକ୍ଷ୍ଣ ସିରିଜ ରେଖାସବୁ ଉଦ୍ଭବ ହେଉଛି ଓ $^3P_0 \leftarrow {}^3D_1$ରୁ ଜାତ ମଳିନ ସିରିଜ୍ ରେଖାସବୁ ଉଦ୍ଭବ ହେଉଛି । ଦୁଇ ପ୍ରକାରର ରେଖା ପାଇଁ ଜମାନ ବିନ୍ୟାସ ହିସାବ କର । ଚିତ୍ର ୧୮·୨ର ତଳ ଡାହାଣ ପାଖ ରେଖା କେଉଁ ସିରିଜର ।

୬ । (କ) ଦେଖାଅ ଯେ, ^3P, ^5D ଓ ^7P ସ୍ତରମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଏବଂ ସାଧାରଣ ଭାବରେ $S=L$ ପାଇଁ $g=1{\cdot}50$ ।

(ଖ) କେଉଁ ଅବସ୍ଥାରେ $g=0$? ଯୁଗ୍ମ ଓ ଅଯୁଗ୍ମ ଉଭୟ ବହୁ ଧାରଣର ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ଉଦାହରଣ ଦିଅ ।

(ଗ) ଦେଖାଅ ଯେ ଏକଧାର ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ସହ $^6F_2$ ଓ $^7I_6$ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ $g=1$ ସହ LS ସଂଯୋଜନା ପାଇଁ $g=1$ ହୁଏ; S, L ଓ J ଉପରେ କେଉଁ ସାଧାରଣ ସର୍ତ୍ତ କାର୍ଯ୍ୟ କରିବ ?

୭ । $^4P_{5/2} \leftarrow {}^4D_{7/2}$ ସଂକ୍ରମଣରୁ ଜାତ ଗୋଟିଏ ରେଖାପାଇଁ ଦୁର୍ବଳ କ୍ଷେତ୍ର ଜିମାନ ବିନ୍ୟାସ ସ୍ଥିର କର । ଚିତ୍ର ୧୮·୬ର ରେଖାମାନଙ୍କ ପରି ଗୋଟିଏ ଚିତ୍ରରେ ବିନ୍ୟାସର ସବୁ ରେଖାଗୁଡ଼ିକର ବିସ୍ଥାପନ ଦେଖାଅ (ଆପେକ୍ଷିକ ତୀବ୍ରତା ବିଷୟ ବିଚାର କରନାହିଁ ।

୮ । $^{10}H_3$ ଓ $^{10}G_3$ ସ୍ତରମାନଙ୍କ ପାଇଁ ସଂବେଗର g ଗୁଣକ ହିସାବ କର । ଦୁଇ ଅବସ୍ଥା ସଂକ୍ରମଣରୁ ଜାତ ରେଖାମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଜିମାନର ବିନ୍ୟାସ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

୯ । (କ) ଦେଖାଅ ଯେ, ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ μ ଥିବା କୌଣସି ବସ୍ତୁ ଗୋଟିଏ ଅସମାନ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଗତି କଲେ z ଦିଗରେ $\mu_z\, \partial B_z/\partial_z$ ପରିମାପର ବଳ ଅନୁଭବ କରିଥାଏ ।

(ଖ) ଗୋଟିଏ ଷ୍ଟର୍ଣ୍ଣ-ଗର୍ଲାକ୍ ପରୀକ୍ଷାରେ ହାରାହାରି ଗତିଜଶକ୍ତି 4×10^{-20}j ଥିବା ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁ ସବୁ ଗୋଟିଏ ଅସମାନ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଗତି କଲେ, ଗତିପଥର $-0{\cdot}75m$ ଓ ଲମ୍ବା $\partial B_z/\partial_z=2500 Wb/m^3$ ଚୁମ୍ବକର ଶେଷରେ ଚିତ୍ର ୧୮·୧୦ରର "ଦ୍ୱୋଲ୍ଡ - ଅଂଶ"ର ସର୍ବାଧିକ ଅନ୍ତର କେତେ ?

୧୦ । ଯେଉଁ ପରମାଣୁ ପାଇଁ $I = \frac{1}{2}$, ତାପାଇଁ ${}^2P_1 \leftarrow {}^2D_2$ ସଂକ୍ରମଣରୁ ଗୋଟିଏ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେଖା ମିଳିଲା । ଏହି ସ୍ତରମାନଙ୍କର ପରସୂକ୍ଷ୍ମ ବିଭାଜନ ଦେଖାଅ ଓ ଏହାର ଦ୍ୱାରା ସମସ୍ତ ଅନୁମିତ ସଂକ୍ରମଣ ଦେଖାଇ ଗୋଟିଏ ଚିତ୍ର କର ।

୧୧ । (କ) ଦୁଇଟି ଚୁମ୍ବକୀୟ ଦ୍ୱିମେରୁ $\vec{\mu}_1$ ଓ $\vec{\mu}_2$ ମଧ୍ୟରେ ଅନ୍ତର r ହେଲେ ଦେଖାଅ ଯେ ପୁରାତନ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାଜନିତ ଶକ୍ତି ହେବ ।

$$E_{\mu_1\mu_2} = \frac{\mu_0}{4\pi}\left[\frac{\vec{\mu}_1\cdot\vec{\mu}_2}{r^3} \; \frac{3(\vec{\mu}_1\cdot\vec{r})(\vec{\mu}_2\cdot\vec{r})}{r^5}\right]$$

(ଖ) ଏହି ସମ୍ବନ୍ଧ ବ୍ୟବହାର କରି ଗୋଟିଏ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ମାଗ୍ନେଟନ ଓ 1 ବୋର୍ ମାଗ୍ନେଟନ ଏକ ବୋର୍ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ଦ୍ୱାରା ପୃଥକ୍ ହୋଇଥିଲେ, ସେମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାଜନିତ ସର୍ବାଧିକ ଶକ୍ତି ବାହାର କର ।

ଊନବିଂଶ ଅଧ୍ୟାୟ

ଅଣୁ ଓ ଆଣବିକ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ

ପରମାଣୁ ଯେ ଏକ ଅନ୍ୟକୁ ଟାଣେ ଏହା (୧) ଦୁଇ ବା ତତୋଧିକ ପରମାଣୁ ମିଳିତ ହୋଇ ଗୋଟିଏ ସ୍ଥାୟୀ ଗ୍ୟାସୀୟ ଅଣୁ ତିଆରି କରିବାରୁ (୨) ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ପରମାଣୁ ଏକତ୍ରିତ ହୋଇ ତରଳ ଓ କଠିନ ପଦାର୍ଥ ଗଠନ କରିବାରୁ, ଜଣା ପଡ଼ିଥାଏ । ପରମାଣୁର କୌଣସି ଗ୍ରହଣଯୋଗ୍ୟ ତତ୍ତ୍ୱ ନିଶ୍ଚୟ କାହିଁକି ଓ କିପରି କେତେକ ପରମାଣୁ ମିଳିତ ହୋଇ ସ୍ଥାୟୀ ଅଣୁ ଗଠନ କରିପାରିବେ, ବୁଝାଇବାକୁ ସକ୍ଷମ ହେବ । ଆଧୁନିକ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ତତ୍ତ୍ୱରେ ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ କାର୍ଯ୍ୟ କରୁଥିବା ବଳସବୁକୁ ବୁଝାଇବାର କ୍ଷମତାର ମୌଳିକ ପ୍ରାଧାନ୍ୟ ରହିଛି । ଏହା ପଦାର୍ଥବିଜ୍ଞାନ-ବିତ୍‌ମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଯେତିକି ମୂଲ୍ୟବାନ୍, ରସାୟନବିତ୍‌ମାନଙ୍କ ପାଇଁ ମଧ୍ୟ ସେତିକି ମୂଲ୍ୟବାନ୍ ।

19.1 ଅନ୍ତଃପରମାଣୁ ବଳ :

ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ବନ୍ଧନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ସେମାନେ ବୁଝାଇବାପାଇଁ ଆମେ ପ୍ରଥମେ ଦୁଇଟି ପୃଥକ ପରମାଣୁ ମଧ୍ୟରେ, ସେମାନେ ଦୂରରୁ ପରସ୍ପର ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ ହେବାବେଳେ କାମ କରୁଥିବା ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଆଲୋଚନା କରିବା । ଯଦି

ପ୍ରତ୍ୟେକ ପରମାଣୁର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ଚାରିପଟେ ଗୋଲକାକାରରେ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ଚାର୍ଜ ବାଦଲ ତିଆରି କରିଥାଏ, କୌଣସି ପରମାଣୁର ଚାରିପଟେ କୌଣସି ବିଦ୍ୟୁତ କ୍ଷେତ୍ର ନଥିବ, ତେଣୁ ସେମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସାମାନ୍ୟ ବଳ କାମ କରୁ ନଥିବ; କିନ୍ତୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର କକ୍ଷମାନଙ୍କରେ ଗତି ସୂଚନା ଦିଏ ଯେ ଯଦିଓ ମୋଟାମୋଟି ଭାବରେ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ରକୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ର ବିକ୍ଷେପ କରିଦିଏ, ତଥାପି ଗୋଟିଏ ଅତ୍ୟନ୍ତ ବେଗରେ ପରିବର୍ତ୍ତନଶୀଳ ଅବଶିଷ୍ଟ କ୍ଷେତ୍ର ରହିଥାଏ । ଏହି କ୍ଷେତ୍ର, ନିକଟସ୍ଥ ପରମାଣୁକୁ ପାର୍ଶ୍ୱୀଭୂତ କରିପାରେ ଏବଂ ଫଳରେ ଏହା ଉପରେ ପରିବର୍ତ୍ତନଶୀଳ ଆକର୍ଷଣ ବଳ ପଡ଼ିପାରେ । ଯେତେବେଳେ ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକ ଆଲୋଡ଼ନ ତତ୍ତ୍ୱ ଏ ସମସ୍ୟାରେ ପ୍ରୟୋଗ କରାଯାଏ, ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁର ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁ ପ୍ରତି ଆକର୍ଷଣ ଥିବାର ଦେଖାଯାଏ; ଏହାକୁ ଭାଣ୍ଡର ଓ୍ୱାଲ୍ସ ଆକର୍ଷଣ କୁହାଯାଏ । ଏହି ଆକର୍ଷଣ ସଂଘନନ ଘଟଣା ପାଇଁ ପ୍ରଧାନ, କିନ୍ତୁ ପରମାଣୁମାନଙ୍କୁ ରସାୟନିକ ଯୌଗିକମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ବାନ୍ଧି ରଖିବାରେ ଏହା ପ୍ରଧାନ ଅଂଶ ଗ୍ରହଣ କରେ ନାହିଁ ।

ଯେତେବେଳେ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ପରସ୍ପରର ଏତେ ଅସ୍ତେ ଆସ୍ତେ ନିକଟତର ହୁଅନ୍ତି ଯେ, ସେମାନଙ୍କର ଚାର୍ଜ ବାଦଲ ଉପର ଉପର ହୋଇପଡ଼େ, ସେତେବେଳେ ରସାୟନିକ ବଳ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହୋଇଥାଏ । ସେତେବେଳେ ନୂଆ ପ୍ରଭାବ ସବୁ ଦେଖାଯାଏ । ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବିନିମୟ ପ୍ରଭାବର ବହୁ ପ୍ରାଧାନ୍ୟ ରହିଅଛି, ଏହା ଗୋଟିଏ ବିଶେଷ ଘଟଣା ପାଇଁ ପରିଶିଷ୍ଟ ୧୬କରେ ବର୍ଣ୍ଣିତ ହୋଇଅଛି ଓ ଏହା ଅନୁ. ୧୯.୪ରେ ଗୁଣାତ୍ମକ ଭାବରେ ବର୍ଣ୍ଣିତ ହୋଇଅଛି । ଯୋଡ଼େ ବିନିମୟଶୀଳ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ବାନ୍ଧି ହୋଇ ରହିଥିବା ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ଗୋଟିଏ ସହ-ସଂଯୋଜକ ବନ୍ଧ ବା କୋଭାଲେଣ୍ଟବନ୍ଧ ନିଜ ନିଜ ମଧ୍ୟରେ ବାନ୍ଧି ନେଇଛନ୍ତି ବୋଲି କୁହାଯାଏ; ଏହି ପ୍ରକାରର ବନ୍ଧନରେ ବାନ୍ଧି ହୋଇଥିବା ଯୌଗିକ ପଦାର୍ଥକୁ ରସାୟନବିତ୍ମାନେ ହୋମୋପୋଲାର ବୋଲି କହିଥାନ୍ତି । କୋଭାଲେଣ୍ଟ ବନ୍ଧ ସମ୍ବନ୍ଧରେ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଯାନ୍ତ୍ରିକ ବୁଝାଇବାର ବହୁ ପୂର୍ବରୁ ସୂଚନ ଯାନ୍ତ୍ରିକ ବ୍ୟବହାର କରି ଗୋଟିଏ ଅତି ବେଶୀ ଯୁକ୍ତ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ପରମାଣୁ (ଯଥା ସୋଡ଼ିୟମ) ଓ ଗୋଟିଏ

ଅଡ ବେଶୀ ବିଯୁକ୍ତବୈଦ୍ୟୁତିକ ପରମାଣୁ (ଯଥା ବ୍ରୋମିନ) ମଧ୍ୟରେ ଆକର୍ଷଣକୁ ବୁଝାଇବାର ଚେଷ୍ଟା ହୋଇଥିଲା । *NaBr* ପରି ଗୋଟିଏ ଯୌଗିକ ପଦାର୍ଥକୁ ଜଳରେ ଦ୍ରବୀଭୂତ କଲେ ଏହା Na^+ ଓ Br^- ଆୟନମାନଙ୍କରେ ବିଚ୍ଛେଦନ ହୋଇଯିବା, ଉତ୍ତମ ଭାବରେ ଜଣାଅଛି । ଏଥିରୁ ସୂଚନା ମିଳୁଛି ଯେ, *Na* ପରମାଣୁରୁ *Br* ପରମାଣୁକୁ ଦୁଏଇ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଚାଲିଯାଇଥିବ; ଏହା ଫଳରେ ଗଠିତ ଅୟନ ଯୋଡ଼ିକ ଦୁଏତ ସ୍ଥିର-ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଆକର୍ଷଣ ଦ୍ୱାରା ଏକାଠି ରହୁଥିବେ । ଏପରି ଏକ ବନ୍ଧକୁ ଗ୍ୟାସୀୟ ଅଣୁଗୁଡ଼ିକର ଆଲୋଚନା ଆରମ୍ଭ କରିବାରେ ପ୍ରଥମ ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ସୁଯୋଗ ଦେଇଥିଲା, ଏହାକୁ ଆୟନୀୟ ବା ହେଟେରୋପୋଲାର ବନ୍ଧ କୁହାଯାଏ ।

ପୁରା ଆୟନୀୟ ଓ ପୁରା କୋଭାଲେଣ୍ଟ ବନ୍ଧ ପର ଲମିଟ୍‌ରେ ଥିବା ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକ ଆଲୋଚନା କରିବା ଯଦିଓ ଆମ ପକ୍ଷରେ ସୁବିଧାଜନକ ହେଲା, ପ୍ରକୃତପକ୍ଷେ ଏ ଦୁଇପ୍ରକାର ମଧ୍ୟରେ ସମସ୍ତ ଜମରି ଅବସ୍ଥା ଉପୁଜିଥାଏ । ଯେଣୁ Co_2 ବା *CdS*ର ଅଣୁମାନଙ୍କରେ ବନ୍ଧଗୁଡ଼ିକ ଦୁଇ ଆଦର୍ଶ ଘଟଣାର ମଝିରେ ଥାଏ । ବନ୍ଧଗୁଡ଼ିକ ଅଂଶିକ ଏପ୍ରକାରର ଓ ଅଂଶିକ ସେପ୍ରକାରର କହିଲେ, ଏହାର ଗାଣିତିକ ଆଲୋଚନା ସହଜରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରେ ।

19·2 ଆୟନୀୟ ବନ୍ଧ :

ଆୟନୀୟ ବନ୍ଧର ଏକ ବିଶେଷ ଉଦାହରଣ ଭାବରେ, ଆମେ ପଟାସିୟମ୍ କ୍ଲୋରାଇଡ଼ ଆଲୋଚନା କରିବା । ଯେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ ବନ୍ଦ ହୋଇଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ମଧ୍ୟସ୍ଥାନର ବାହାରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଥିବା *K* ପରମାଣୁ, ଗୋଟିଏ *Cl* ପରମାଣୁ ସହିତ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଘଟାଏ, ଗୋଟିଏ ମୌଳିକ ଆୟନୀୟ ବନ୍ଧ ତିଆରି ହୁଏ (*Cl*କୁ ସବାଧିକ ସ୍ଥାୟୀ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଅବସ୍ଥାନ ଦେବାପାଇଁ ଅର୍ଥାତ୍ ଉପଦ୍ରକୋଷ P^6କୁ ପୂର୍ଣ୍ଣ କରିବାପାଇଁ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଦରକାର ହୋଇଥାଏ) । ଆମେ ମନେ କରି ପାରିବା ଯେ K ପରମାଣୁ ଏହାର ବାହ୍ୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ଦେଇଦିଏ ଓ *Cl* ପରମାଣୁରେ ଏହା ମିଳିତ ହୁଏ, ଏହାଦ୍ୱାରା K^+ ଓ Cl^+ ଅୟନ ସବୁ ରହିଯାଏ । ଏମାନେ ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାଦ୍ୱାରା ଏକାଠି ବାନ୍ଧି ହୋଇଯାନ୍ତି । ଏହି ଚିତ୍ରର ପ୍ରଧାନ ସମର୍ଥନ

ମିଳିଥିବା ଅଣୁମାନଙ୍କର ଗଠନ ସାଧାରଣ ଧର୍ମ ଓ ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ବନ୍ଧନଶକ୍ତି ପାଇବାରେ ଏହାର ସଫଳତାରୁ । ଗୋଟିଏ ଯୁକ୍ତ ଆୟନ ଓ ଗୋଟିଏ ବିଯୁକ୍ତ ଆୟନ ଦ୍ୱାରା ଗଠିତ ଗୋଟିଏ ଅଣୁ ପ୍ରକୃତରେ ପୋଲର ହେବା ନିଶ୍ଚିତରୂପେ ଜଣାପଡ଼ୁଛି ଏବଂ ଏହାର ସ୍ଥାୟୀ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଦ୍ୱିମେରୁ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ରହିବ । ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ଦ୍ୱିମେରୁ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣର, ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତିର ଓ ଆଣବିକ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର ସମସ୍ତ ପାରମାଣବିକ ପରିମାପ K^+ ଆୟନ ଓ Cl^+ ଆୟନ ସେମାନଙ୍କର ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ 2·79A° ବ୍ୟବଧାନରେ ଥାଇ ସମ୍ମିଳିତ ହେଲେ Kcl ଅଣୁ ଜାତ ହୁଏ ବୋଲି ଅନୁମାନ କଲେ ମିଳୁଥିବା ହିସାବ ସହିତ ଉତ୍ତମରୂପେ ମିଳିଥାଏ ।

ଯେତେବେଳେ କ୍ଲୋରିନର ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁ ଓ ପଟାସିୟମର ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁ ମିଳିତ ହୋଇ ପଟାସିୟମ କ୍ଲୋରାଇଡ଼ ଗଠନ କରନ୍ତି, 4·42eV/ଅଣୁ ପରିମାଣର ଶକ୍ତି ନିଷ୍କାସିତ ହୋଇଥାଏ । ଏହାକୁ ଅଣୁର ବନ୍ଧନଶକ୍ତି କହନ୍ତି । ଆନୁରୂପ, 4·42eV ଗୋଟିଏ Kcl ଅଣୁକୁ ପଟାସିୟମର ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁ ଓ କ୍ଲୋରିନର ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁରେ ବିଚ୍ଛେଦନ କରି ହୋଇପାରେ । ଗୋଟିଏ ସଂରକ୍ଷଣଶୀଳ ସଂସ୍ଥାପାଇଁ, ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତି ସଂଖ୍ୟାରେ ବିଚ୍ଛେଦନ ଶକ୍ତି ସହ ସମାନ । ଯଦି ଅସୀମ ଶକ୍ତି ପରିମାପ ପାଇଁ ଗୋଟିଏ Cl ଓ ଗୋଟିଏ K ପରମାଣୁ ବହୁଦୂରରେ ଥିବା ଅବସ୍ଥାକୁ ଶୂନ୍ୟ ବୋଲି ଧରିବା, Kcl ଅଣୁ ଏହାର ଭୂମ୍ୟବସ୍ଥାରେ ଏହାର ବିଚ୍ଛେଦନ ଶକ୍ତିସହିତ ସମାନ ବିଯୁକ୍ତ ଶକ୍ତିବାନ୍ ହୋଇଥିବ । ଏହି ଶକ୍ତିର ଏକ ହିସାବ ପାଇବାପାଇଁ ଅନୁମାନ କର ଯେ, ଆମେ ଗୋଟିଏ ସିଡ଼ିରେ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ କାଳ୍ପନିକ ସୋପାନରେ ଯାଇ ଅଣୁଟିକୁ ତିଆରି କରିବା, ଏ ସୋପାନଗୁଡ଼ିକ ଦେଇ ପ୍ରକୃତ ଅଣୁ ଗଠିତ ହୁଏନାହିଁ । କିନ୍ତୁ ଏହି ପ୍ରଣାଳୀଗୁଡ଼ିକରେ ଶକ୍ତି ସଂରକ୍ଷିତ ହେଉଥିବାରୁ ଯେଉଁ ପ୍ରଣାଳୀରେ ଅଣୁଟି ତିଆରି ହେଉଛି ବିଚ୍ଛେଦନ ଶକ୍ତି ସେ ପ୍ରଣାଳୀ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିବ ନାହିଁ । ପ୍ରଥମରୁ ଗୋଟିଏ K ପରମାଣୁ ଓ ଗୋଟିଏ Cl ପରମାଣୁ ଅନନ୍ତ ପଥ ବ୍ୟବଧାନରେ ଥାଆନ୍ତୁ । Kରୁ ଆମେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ କାଢ଼ିନେବା ଓ ଏହା Cl ପରମାଣୁକୁ ଦେବା, ଏହିପରି ଅନୁରୂପ ଆୟନଟି ଉତ୍ପନ୍ନ ହେବ । K ପରମାଣୁରୁ ବାହ୍ୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟିକୁ କାଢ଼ି ନେବାପାଇଁ ଏହାର ଆୟନନ ଶକ୍ତି 4·34eV ହେଉଛି । Clର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଆସକ୍ତି ହେଲା 3·80eV; ଯେତେବେଳେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗୋଟିଏ ମୁକ୍ତ Cl ପରମାଣୁ ସଙ୍ଗେ ମିଳିତ ହୁଏ ସେତେବେଳେ ଏହି ପରିମାଣର ଶକ୍ତି ନିଷ୍କାସିତ

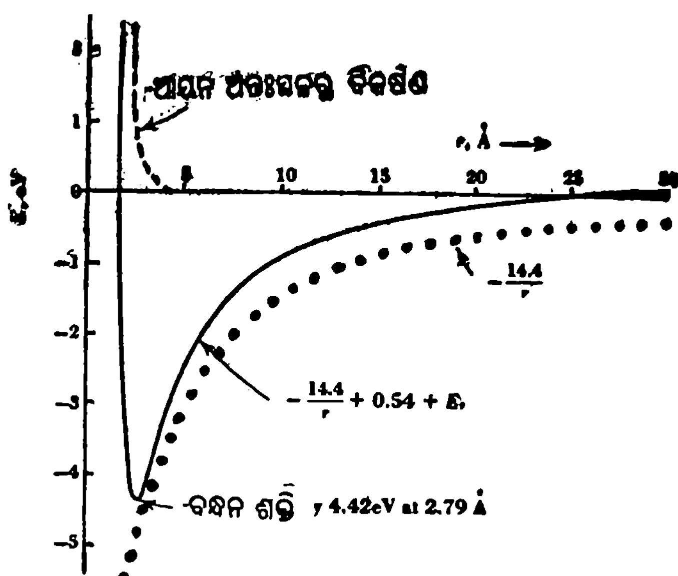
ହୋଇଥାଏ । ଆୟନଗୁଡ଼ିକ ତିଆରି କରିବାର ପ୍ରଣାଳୀ ଅନୁସାରେ ମୋଟ $0{\cdot}54eV$ ଶକ୍ତି ଦରକାର କରିଥାଏ । ଆମେ ବର୍ତ୍ତମାନ ଏହି ଶକ୍ତି ବା ଏହାଠାରୁ ଅଧିକ ଶକ୍ତି K^+ ଓ Cl^- ଅୟନଗୁଡ଼ିକୁ ସେମାନଙ୍କର ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ ଆକର୍ଷଣ ଦ୍ୱାରା ପରସ୍ପରର ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ ହେଲେ ପାଇ ପାରିବା । ଚାର୍ଜ e ଓ $-e$ ଦୁହେଁ r ବ୍ୟବଧାନରେ ଥିଲେ ସେମାନଙ୍କର ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ହେବ,

$$P = -\frac{1}{4\pi\epsilon_0}\,\frac{e^2}{r} = -\frac{14{\cdot}4}{r}eV - A^{\circ} \qquad (୧୯.୧)$$

ଏଠାରେ ଆମେ ଧ୍ରୁବଟିର ମୂଲ୍ୟ ନିରୂପଣ କରି ବ୍ୟବଧାନକୁ ଆଙ୍ଗଷ୍ଟ୍ରମ ଏକକରେ ମାପ କଲାବେଳେ ସ୍ଥିତିଜଶକ୍ତି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଭୋଲ୍ଟରେ ମିଳିବାର ବ୍ୟବସ୍ଥା କରାଯାଇ ଅଛି । ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାର ବ୍ୟବଧାନ $2{\cdot}79A^{\circ}$ରେ, ସ୍ଥିତିଜଶକ୍ତି P ହେଲା $-5{\cdot}16eV$ ।

r କମିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ଲିମିଟ୍ ନଥାଇ କମି କମିଯାଏ । ଏହା ସ୍ପଷ୍ଟ (ଚିତ୍ର ୧୯.୧) । ଯଦି କୌଣସି ବିକର୍ଷଣ ବଳ କାର୍ଯ୍ୟ ନକରେ, ତେବେ ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ବ୍ୟବଧାନ ରହି ପାରିବ ନାହିଁ । ଆୟନଗୁଡ଼ିକ ପରସ୍ପରର ସାନ୍ନିଧ୍ୟକୁ ବାଧା ଦେଇ ସୀମିତ କରିଦେବା ମୂଳତଃ ପ୍ରତି ନିଉକ୍ଲିୟସ ଚାରିପଟେ ଥିବା ଚାର୍ଜ ବାଦଲ ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ । ଏକ୍ଷେତ୍ରରେ ଦୁଇ ଅୟନଙ୍କର $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6$ ଅନ୍ତଃସ୍ଥଳ । ଯେତେ K ଓ Cl ଆୟନ ଅତି ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ ହେବାଫଳରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବାଦଲଗୁଡ଼ିକ ଉପର ଉପର ହୋଇ ରହିବାକୁ ଆରମ୍ଭ କଲେ, ପାଉଲି ଅପବର୍ଜନ ନିୟମ ଅନୁସାରେ ଗୋଟିଏ ବା ଅଧିକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଅଧିକତର ଶକ୍ତି ଅବସ୍ଥାକୁ ଉଠିଯିବେ । ଏହା ଫଳରେ ଏକ ତୀବ୍ର ବିକର୍ଷଣ ବଳ କାର୍ଯ୍ୟକରେ, ବ୍ୟବଧାନ କମିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଏହି ବଳ ଅତି ବେଗରେ ବଢ଼ିଯାଏ । ଏହା ଚିତ୍ର ୧୯.୧ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଫଳରେ ବିଭବରେ $r = 2{\cdot}79A^{\circ}$ଠାରେ ଗୋଟିଏ ସର୍ବନିମ୍ନ ଅଂଶ ରହେ, ଏହା ଆୟନମାନଙ୍କର ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ବ୍ୟବଧାନ ସୂଚାଇ ଥାଏ । କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଯାନ୍ତ୍ରିକି ଅନୁସାରେ ଦୁଇ ଆୟନ ପରସ୍ପରର ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ ହେବାବେଳେ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନପାଇଁ ଥିବା ତରଙ୍ଗଫଳନ ବହୁ ପରିମାଣରେ ବିକୃତ ହୋଇଯାଏ ଏବଂ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ଆଉ ସରଳ ହାଇଡ୍ରୋଜେନୀୟ ହୁଏନାହିଁ (ଆମେ ଏପରି ଅନୁମାନ କରିଥାଉଁ) । ଯେତେବେଳେ ଦୁଇ ଆୟନର ଅନ୍ତଃସ୍ଥଳ ପରସ୍ପରକୁ ଭେଦ କରନ୍ତି, ପାଉଲି

ନିୟମ ଦରକାର କରେ ଯେ, ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଅଧିକ ଶକ୍ତି ଅବସ୍ଥାକୁ ଗତି କରନ୍ତୁ । ସେଠାରେ ଯୁକ୍ତ ସ୍ପର୍ଶ ଥିବା ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ବିକର୍ଷଣ ଆସେ । ଏହା ଆୟନ ଅନ୍ତଃସ୍ଥଳ ବିକର୍ଷଣ ସହିତ ମିଶି ଚିତ୍ର ୧୯'୧ର ଖଣ୍ଡିତରେଖା ଚକ୍ଷୁ ଚିତରେଖା ଦେଇଥାଏ ।



[ଚିତ୍ର ୧୯'୧ K^+ ଓ Cl^- ଆୟନମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ବ୍ୟବଧାନ r'ର ଫଳନ ଭାବରେ ଗୋଟିଏ KCl ଅଣୁର ଶକ୍ତି ମୋଟାରେଖାରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଶୂନ୍ୟ-ଶକ୍ତି ଅବସ୍ଥାନ ଗୋଟିଏ ମୁକ୍ତ K ପରମାଣୁ ଗୋଟିଏ ମୁକ୍ତ Cl ପରମାଣୁଠାରୁ ଅନନ୍ତ ଦୂରରେ ଥିବା ଅବସ୍ଥା।]

KClର ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ବିଚ୍ଛେଦନ ଶକ୍ତି 4·42 eV, କିନ୍ତୁ ଆୟନର ସ୍ଥିତିଜଶକ୍ତିରୁ ଆୟନ ଯୁଗ୍ମ ଗଠନ ପାଇଁ ଖର୍ଚ୍ଚ ବାଦ୍‌ଦେଲେ 5·16 − 0·54 = 4·62eV ହେବ । ଏଥିରୁ ବିକର୍ଷଣ ଶକ୍ତି ହିସାବ କରାଯାଇପାରେ । ଏଥିରୁ ସୂଚିତ ହୁଏ ଯେ, ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ବିକର୍ଷଣ ମୋଟାମୋଟି 0·20eV ।

ଆଉ ଦୁଇଟି କାରଣରୁ ଅଳ୍ପ ଅଳ୍ପ ଶକ୍ତି ମିଳିଥାଏ । ମାତ୍ର ଏ ଦୁଇହେଁ ପରସ୍ପରର ଫଳ ମୋଟାମୋଟି ସମତୁଲ୍ କରି ଦେଇଥାନ୍ତି । ପ୍ରଥମଟି ହେଲା, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବାଦଲ-ମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ ଆକର୍ଷଣ ଓ ଅନ୍ୟଟି ହେଲା ଅନିର୍ଦ୍ଦେଶ୍ୟ ନିୟମ ଅନୁସାରେ ଥିବା ସାମାନ୍ୟ ଦୋଳନ ଶକ୍ତି । ପରୋକ୍ତଟି ଜାତ ହେବାର କାରଣ ଚିତ୍ର ୧୯·୧ରେ ସଙ୍କୀର୍ଣ୍ଣ ଅଂଶଠାରେ ସ୍ଥିତିଜଶକ୍ତି ପ୍ରଧାନତଃ ହାର୍ମୋନିକ୍ ଦୋଳନ ବିଭବ; ଏପରି ଏକ ସଂସ୍ଥା ପାଇଁ $\frac{1}{2}h\nu$ ପରିମାଣର ଶୂନ୍ୟ-ବିନ୍ଦୁ ଶକ୍ତି କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଅନୁସାରେ ଆବଶ୍ୟକ । ଅନୁଃ ୧୯·୮ରେ ଆମେ ଦେଖିଥାଇଁ ଯେ ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ହାର୍ମୋନିକ୍ ଦୋଳନ ଅଣୁମାନଙ୍କର ସ୍ପେକଟ୍ରମକୁ ବୁଝାଇବାରେ ଏକ ପ୍ରଧାନ ଗୁରୁତ୍ୱପୂର୍ଣ୍ଣ ବିଷୟ ।

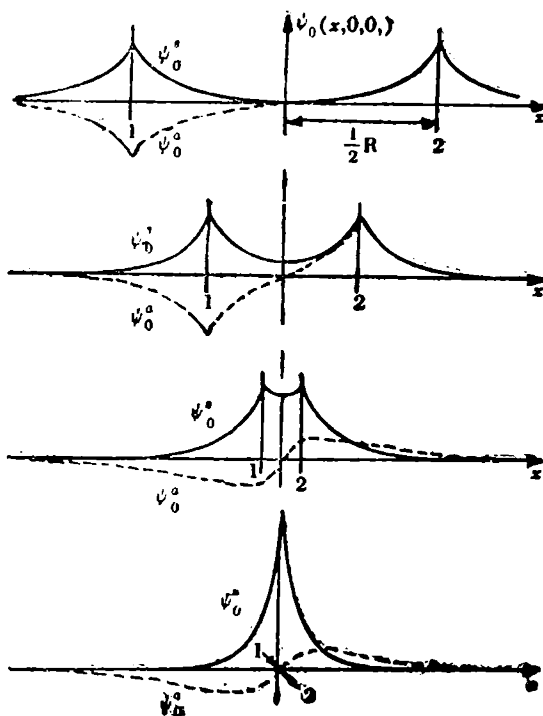
19·3 ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ଅଣୁ ଆୟନ :

ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଅନେକ ଦ୍ୱିପାରମାଣବିକ ଅଣୁ ବିଶିଷ୍ଟ ଅଛନ୍ତି । ଯଥା – ହାଇଡ୍ରୋଜେନ, ଅକ୍ସିଜେନ, ନାଇଟ୍ରୋଜେନ ଓ କ୍ଲୋରିନ୍ । ଏଗୁଡ଼ିକରେ ଏକାପ୍ରକାରର ପରମାଣୁ ବାନ୍ଧିହୋଇ ରହିଛନ୍ତି । ଏପରି କୋଭାଲେଣ୍ଟ ବନ୍ଧନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ବୁଝିବାପାଇଁ ଗୋଟିଏ ଦୁଇଟି ପ୍ରୋଟନ ଓ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଥିବା ସଂସ୍ଥା ବିଷୟରୁ ଆଲୋଚନା ଆରମ୍ଭ କରିବା ଦରକାର । ଆୟନୀକୃତ H_2 ଅଣୁ ଏହିପରି ଏକ ଅଣୁ । ଏହା ଗୋଟିଏ ତିନି ବସ୍ତୁ ସମସ୍ୟା । ଏହାପାଇଁ କୌଣସି ସାଧାରଣ ସମାଧାନ ନାହିଁ । କିନ୍ତୁ ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ବସ୍ତୁତ୍ୱର 1836 ଗୁଣ ହୋଇଥିବାରୁ ପ୍ରୋଟନମାନଙ୍କର ବେଗ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ବେଗ ତୁଳନାରେ ବହୁତ କମ୍ । ତେଣୁ ପ୍ରୋଟନଗୁଡ଼ିକ ସ୍ଥିର ଅଛନ୍ତି ଓ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ଗତିଶୀଳ ଅଛି ବୋଲି ଅନୁମାନ କରିବା ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ପ୍ରଥମ କୋଟୀର ଅନୁମାନ । ତେବେ ଦୁଇ ପ୍ରୋଟନ ମଧ୍ୟରେ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ବ୍ୟବଧାନ R ପାଇଁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ତରଙ୍ଗ ସମୀକରଣକୁ ବିଚାର କରିବା । ଏଥିପାଇଁ ପ୍ରୋଟନଗୁଡ଼ିକ ଯୋଗ କରୁଥିବା ରେଖାକୁ x ଅକ୍ଷ ନେବା ଓ ମୂଳବିନ୍ଦୁକୁ ସେମାନଙ୍କର ମଧ୍ୟସ୍ଥଳରେ ନେବା । ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ ଶ୍ରୋଡ଼ିଞ୍ଜରର ସମୀକରଣ ହେଲା,

$$-\frac{\hbar^2}{2m}\nabla^2\psi-\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0}\left\{\frac{1}{[(x-R/2)^2+y^2+z^2]^{\frac{1}{2}}}+\frac{1}{[(x+R/2)^2+y^2+z^2]^{\frac{1}{2}}}\right\}\psi=R\psi \quad (୧୯·୨)$$

ଯେତେବେଳେ R ବଡ଼, (୧୯'୨)ର ସମାଧାନ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁର ଆଇଗେନ ମୂଲ୍ୟ ସବୁ ଦେବ, ଏହା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନ ସହିତ ବାନ୍ଧି ହେବାର ଅନୁରୂପ; ତେଣୁ ଆମର ଗୋଟିଏ ସୁଷମ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁ ଅଛି ଓ R ଦୂରତାରେ ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନ ରହିଅଛି ।

ଯଦି ଆମେ R (କେତେକ ଅଙ୍ଗଷ୍ଟ୍ରମ୍ ଏକକ) ପାଇଁ ସମସ୍ୟାଟିର ପୁନରାବୃତ୍ତି କରିବା, ଆମେ ଦେଖିବା ଯେ, ଦ୍ୱିକେନ୍ଦ୍ର-ଶକ୍ତି ଫଳନର ସାମଞ୍ଜସ୍ୟତା ଲାଗି କୌଣସି ଅଣ-ଅପବିକାଶିତ ଆଇଗେନ ଫଳନର ଯୁଗ୍ମ ବା ଅଯୁଗ୍ମ ପ୍ରକୃତି ରହିବ । ଚିତ୍ର ୧୯'୨, Rର କେତେଟି ମୂଲ୍ୟ ଲାଗି (ଅତି ବେଶୀରୁ ଶୂନ ମଧ୍ୟରେ) ମୋଟାମୋଟି ଭୂମ୍ୟବସ୍ଥା ଆଇଗେନ

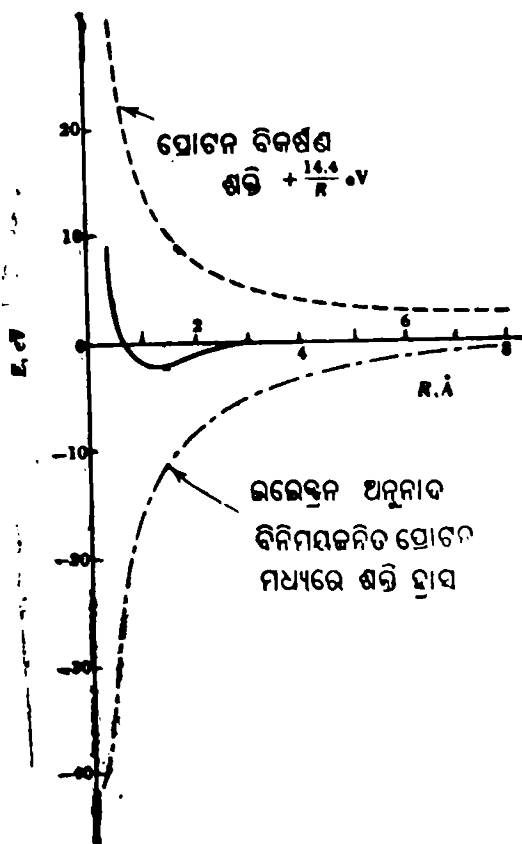


[ଚିତ୍ର ୧୯'୨ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ଫଳନ ψ_0^sର ଓ ଅସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ଫଳନ ψ_0^aର କେତେଟି ପ୍ରୋଟନ ବ୍ୟବଧାନ R ମୂଲ୍ୟ ଲାଗି ରୈଖିକ ଉଦାହରଣ । x ଅକ୍ଷରେ ତରଙ୍ଗ ଫଳନର ମୂଲ୍ୟ ଦିଆଯାଇଅଛି ।]

ଫଳନ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ପରୋକ୍ତ ଘଟଣାଟି ହିଲିୟମ ଆୟନର ସେଗୁଡ଼ିକୁ ବୁଝାଉଛି, ଏଥିପାଇଁ ଆମେ ଜାଣୁ ଯେ ଭୂମ୍ୟବସ୍ଥାଶକ୍ତି ହେଲା $4-\times 13.6=-54.4eV$, କିନ୍ତୁ ପ୍ରଥମଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ $-13.6eV$ ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତିର ଅନୁରୂପ ।

ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ଅଣୁ-ଆୟନର ପ୍ରୋଟନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ସାମ୍ୟାବସ୍ଥା ବ୍ୟବଧାନ ହେବ, ଯେତେବେଳେ ସଂସ୍ଥାଟି ପାଇଁ (କେବଳ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ପାଇଁ ନୁହେଁ) ଶକ୍ତି ନ୍ୟୂନତମ ହେବ । ପ୍ରୋଟନଗୁଡ଼ିକ ଏକ ଅନ୍ୟର ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ ହେବାବେଳେ, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଶକ୍ତି କମିଯାଏ, କିନ୍ତୁ ପ୍ରୋଟନମାନଙ୍କର କୁଲମ୍ବ ବିକର୍ଷଣ ପାଇଁ ଶକ୍ତି ବଢ଼ିଯାଏ । ଚିତ୍ର ୧୯.୩ରେ ଏହି ଦୁଇ ଶକ୍ତି ପଦ ଅଙ୍କନ କରାଯାଇଅଛି, ଏଠାରେ ପ୍ରୋଟନ ଦୁଇଟି ପରସ୍ପରଠାରୁ ଅନନ୍ତ ଦୂରତାରେ ଥାଇ ସେଥିରୁ ଗୋଟିକ ସଙ୍ଗେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ଲାଗି ରହିବା ଅବସ୍ଥାର ଶକ୍ତିକୁ ଶୂନ୍ୟ ବୋଲି ନିଆଯାଇଅଛି । ସଂସ୍ଥାର ଶକ୍ତି ହେଲା ପୂର୍ବୋକ୍ତ ଦୁଇଟି ମଧ୍ୟରେ ଅନ୍ତର; ଏହାର ମୂଲ୍ୟ $R_0=1.06$ A°ଠାରେ ନ୍ୟୂନତମ ଓ ଏହାର ମୂଲ୍ୟ ସେଠାରେ $-2.65eV$ । ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ବ୍ୟବଧାନ ପାଇଁ x ଅକ୍ଷରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବଣ୍ଟନ ଚିତ୍ର ୧୯.୪ରେ ଅନ୍ତର୍ଭାଗରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି; କିନ୍ତୁ ତଳେ $\psi^*\psi$ର ସମାନ ମୂଲ୍ୟପାଇଁ କଣ୍ଟୁର ରୂପରେ ହିସାବ କରିଥିବା ସର୍ବାଧିକ ମୂଲ୍ୟର 0.9, 0.8 ······ 0.1 ଗୁଣ ମୂଲ୍ୟପାଇଁ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଦୁଇ ପ୍ରୋଟନ ମଧ୍ୟରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ଟିକୁ ପାଇବାର ସମ୍ଭାବନା ବହୁତ ବେଶୀ, ଏହାହିଁ ଆଶା କରାଯାଏ, ଦୁଇ ନିଉକ୍ଲିୟସ ମଧ୍ୟରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ଟିକୁ ଭାଗ କରିବା ଦ୍ୱାରା ବନ୍ଧନ ସମ୍ଭବ ହୋଇଥାଏ ।

ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ଯେ, କେବଳ ଯୁଗ୍ମ ପାଣିଟି ତରଙ୍ଗଫଳନ ଏ କ୍ଷେତ୍ରରେ ବନ୍ଧନ ଦେଇଥାଏ, ଅଣସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ତରଙ୍ଗଫଳନ, ଯଥା—ଚିତ୍ର ୧୯.୩ରେ ଖଣ୍ଡିତରେଖା, R କମିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଶକ୍ତିରେ ବୃଦ୍ଧିର ଅନୁରୂପ, ତେଣୁ ଏହା ପ୍ରୋଟନମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ମୋଟରେ ବିକର୍ଷଣର ଅନୁରୂପ । ଏକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବନ୍ଧ ଦୁଇ ପ୍ରୋଟନ ପାଇଁ ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ଭାବରେ ଶକ୍ତିଶାଳୀ; କିନ୍ତୁ ଯଦି ଦୁଇ ନିଉକ୍ଲିୟସର ଏକା ଚାର୍ଜ ନଥାଏ, ତେବେ ଏହା ଅତ୍ୟନ୍ତ ଦୁର୍ବଳ ହୋଇପଡ଼େ ।

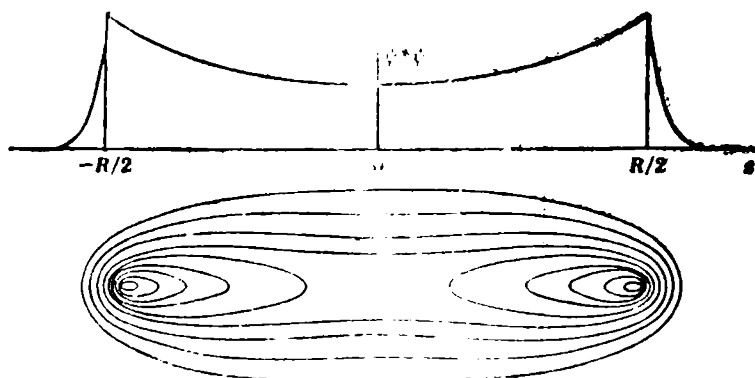


[ଚିତ୍ର ୧୯.୩ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ଅଣୁ-ଆୟନର ଶକ୍ତି ପ୍ରୋଟନମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଅନ୍ତର Rର ଫଳନ ସ୍ୱରୂପରେ । ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନ ଓ ଗୋଟିଏ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁ ଅନନ୍ତ ବ୍ୟବଧାନରେ ଥିବା ଅବସ୍ଥାକୁ ଶୂନ୍ୟ ବୋଲି ଧରାଯାଇଅଛି]

19·4 ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ଅଣୁ ଓ କୋଭାଲେଣ୍ଟ ବନ୍ଧନ :

ଯେତେବେଳେ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ଅଣୁ-ଆୟନ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନକୁ ଧରି ରଖେ, ଗୋଟିଏ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ଅଣୁ ଗଠିତ ହୁଏ । 1927ରେ ହାଇଟଲର୍ ଓ ଲଣ୍ଡନ ଏହି ଅବସ୍ଥାପାଇଁ ଶ୍ରୋଡିଞ୍ଜର ସମୀକରଣ ଲେଖିଥିଲେ ଏବଂ ଅଙ୍କ ଉପରେ ବାବହାର

କରିଥିବା ଅସନ୍ନ ପ୍ରଣାଳୀରେ ଏହାକୁ ସମାଧାନ କରିଥିଲେ । ପ୍ରୋଟନମାନଙ୍କର ବହୁତ ବେଶି ବ୍ୟବଧାନ R ପାଇଁ ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ଦୁଇଟି H ପରମାଣୁ ବହୁତ ଦୂରତାରେ ରହୁଥାଏ ।



[ଚିତ୍ର ୧୯.୪ ସାଧାରଣ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ଅଣୁ-ଆୟନ ପାଇଁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବଣ୍ଟନ ଫଳନ । ଉପରୁ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ସର୍ବାଧିକ ମୂଲ୍ୟର 0.9, 0.8 ... ଗୁଣିତ ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ କଣ୍ଟୁର ରେଖାସବୁ]

R ଶୂନ୍ୟ ହେବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ, ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥା ହିଲିୟମ ପରମାଣୁର ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥା ହୁଏ । ମଝାମଝି ବ୍ୟବଧାନ ପାଇଁ ଅବସ୍ଥା ଅଧିକ ଜଟିଳ ହୋଇଥାଏ । ଆମେ ଦେଖୁ ଯେ, ସ୍ଥିତିଜଶକ୍ତି ଫଳନ ଓ ଏଥିରୁ ମିଳୁଥିବା ହାମିଲ୍ଟୋନିୟ ଅପରେଟର ଆଉ ଥରେ x ରେ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟୀ ହୋଇଥାଏ, ଫଳରେ x ପାଇଁ ଆଇଗେନ ଫଳନଗୁଡ଼ିକର ଯୁଗ୍ମ ବା ଅଯୁଗ୍ମ ପାରିଟି ହୋଇଥାଏ, ଠିକ୍ ଯେପରି ଆମେ H_2^+ ଆୟନ ପାଇଁ ପାଇଥାଉ ।

ଯେତେବେଳେ ଉନ୍ନତତର ହିସାବ କରାଯାଏ, ସେତେବେଳେ R ସଙ୍ଗେ ପାରମାଣିକ ସ୍ତରରେ ସ୍ଥିର ଭୂମ୍ୟବସ୍ଥାର ଶକ୍ତି ବଦଳିଥାଏ, (ଚିତ୍ର ୧୯.୩ର ମୋଟା ରେଖା ଦେଖ) ଏଥିରେ $R_0 = 0.742$ Å ଠାରେ ଏକ ସାମ୍ୟାବସ୍ଥା ବ୍ୟବଧାନ ମିଳିଥାଏ ଓ 4.48 eV ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତି ମିଳିଥାଏ । ତେଣୁ ସୁଷମ ଅଣୁ ଆୟନ ଅପେକ୍ଷା ପ୍ରୋଟନଗୁଡ଼ିକ ହଲକରେ ଥାଇ ଅଧିକ ଜୋରରେ ବାନ୍ଧି ହୋଇ ରହିଥାଏ ।

ସୁଷମ ଅଣୁର ଭୂମ୍ୟବସ୍ଥା ପାଇଁ ସାମ୍ଯବ୍ୟାପ୍ତତା ଫଳନ ଚିତ୍ର ୧୯·୪ରେ ଆସ୍ୱର୍ନପାର୍ଶ୍ୱ ଦିଆଥିବା ଫଳନ ପରି ବହୁ ପରିମାଣରେ ଗୁଣ ପ୍ରକାଶ କରିଥାଏ; କେବଳ ପ୍ରଭେଦ ହେଲା ଯେ, $x = 0$ ପାଖରେ କଣ୍ଟୁରଗୁଡ଼ିକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ପରସ୍ପର ବିକର୍ଷଣ ଫଳରେ ବହୁ ପରିମାଣରେ ଅଧିକ ମୋଟା ହୋଇଥାଏ । ଦୁଇ ନିଉକ୍ଲିୟସ ହଲେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଙ୍କୁ ଭାଗ କରିବା ଦ୍ୱାରା ବନ୍ଧନ ଘଟିଥାଏ; ଏହା କୋଭାଲେଣ୍ଟ (ବା ହୋମୋପୋଲାର) ବନ୍ଧନର ସ୍ୱାଭାବିକ ପ୍ରକାର । କିନ୍ତୁ ଏହି ବନ୍ଧନର ଗୋଟିଏ ଅତ୍ୟନ୍ତ ମୂଲ୍ୟବାନ୍ ଗୁଣ ଅନ୍ତର୍ଯରେ କହିଦେବା ଉଚିତ । ଗୋଟିଏ କୋଭାଲେଣ୍ଟ ବନ୍ଧନରେ ଅଂଶୀଦାର ଦୁଇ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଙ୍କର ନିଶ୍ଚୟ ବିପରୀତ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ରହିଥିବ ।

ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଯୋଡ଼ି ପାଇଁ ଭୂମ୍ୟବସ୍ଥା ସ୍ଥାନ-ତରଙ୍ଗ ଫଳନର ଯୁଗ୍ମ ପାରିଟି । କିନ୍ତୁ ପାଉଲି ଅପବର୍ଜନ ନିୟମ ଅନୁସାରେ ଯଦି ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଙ୍କର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ହୁଏ, ତେବେ ସେମାନଙ୍କର ଏହି ସ୍ଥାନ ତରଙ୍ଗଫଳନ ରହିଯିବ । ଦୁଇ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଙ୍କର ସ୍ଥାନ ଓ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସ୍ଥାନଙ୍କରେ ଯେକୌଣସି ବିନିମୟ ନିଶ୍ଚୟ ଅସାମଞ୍ଜସ୍ୟୀ ହେବ । ଯଦି ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସମାନ୍ତର ହୁଏ; ଦ୍ୱିତୀୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ଉଚ୍ଚତର ଶକ୍ତି ଅବସ୍ଥାକୁ ନିଶ୍ଚୟ ଯିବ; H_2 ଅଣୁ ପାଇଁ ଏହା କୌଣସି ବନ୍ଧନ ଦରକାର କରେ ନାହିଁ । ତେଣୁ ଦୁଇଟି H ପରମାଣୁ କେବଳ ସେତେବେଳେ ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଙ୍କର ବିପରୀତ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଥିବ, ସେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ ଅଣୁ ଗଠନ କରିପାରିବେ ।

ଅସମାନ ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଯୋଡ଼ିବନ୍ଧନ-ଜୋରରେ ମୋଟାମୋଟି ଭାବରେ ସମାନ ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଯୁଗଳର ବନ୍ଧନରେ ଥିବା ଜୋର ସଙ୍ଗେ ସମାନ, ଯଦିଓ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ସମାନ ନହେଲେ ଏକ-ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବନ୍ଧନଗୁଡ଼ିକ ଦୁର୍ବଳ । ଅସମାନ ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଯେଉଁଠିରୁ କମ୍ ଶକ୍ତି ମିଳେ, ସେଇଠି ପାଖରେ ସବୁବେଳେ ଦେଖାଯାଏ । କିନ୍ତୁ, ଦୁଇ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବନ୍ଧନପାଇଁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ବିକର୍ଷଣ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକୁ ପରସ୍ପରଠାରୁ ଦୂରରେ ରହିଥାନ୍ତି, ଅବଶ୍ୟ ଏଥିରୁ କୌଣସି ପରମାଣୁର ବିଶେଷ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଆସକ୍ତି ଥିଲେ ଅବସ୍ଥା ଭିନ୍ନ ହୁଏ (ପରବର୍ତ୍ତୀ ଆୟନୀୟ ବନ୍ଧନ ଦେଇଥାଏ) । ଗୋଟିଏ ସାଧାରଣ କୋଭାଲେଣ୍ଟ ବନ୍ଧନରେ କେବଳ ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଅଂଶ ଗ୍ରହଣ କରିଥାନ୍ତି । ଯଦି

ଗୋଟିଏ ତୃତୀୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଥାଏ, ଏହାର ଆଇଗେନ ଫଳନ ଉଚ୍ଚତର ଶକ୍ତିର ଅନୁରୂପ ହେବ; ଏହା ଫଳରେ ଦୁଏତ ଅଧିକ ଦୁର୍ବଳ ବନ୍ଧନ ହୋଇପାରେ (ଯେପରି H_2^-ରେ ହୋଇଥାଏ) ବା କୌଣସି ବନ୍ଧନ ନଘଟିପାରେ (HeH) । ଦୁଇ ପରମାଣୁ ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିକଠାରୁ ଅଧିକ କୋଭାଲେଣ୍ଟ ବନ୍ଧନ ଥାଇପାରେ; ଯଥା—O_2ରେ ଆମର ଦୁଇଟି କୋଭାଲେଣ୍ଟ ବନ୍ଧନ ଅଛି ଓ N_2ରେ ତିନୋଟି, ମିଥେନ୍‌ରେ CH_4, କାର୍ବନ ପରମାଣୁର ଚାରିଗୋଟି କୋଭାଲେଣ୍ଟ ବନ୍ଧନ ଅଛି । ପ୍ରତି H ପରମାଣୁ ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ।

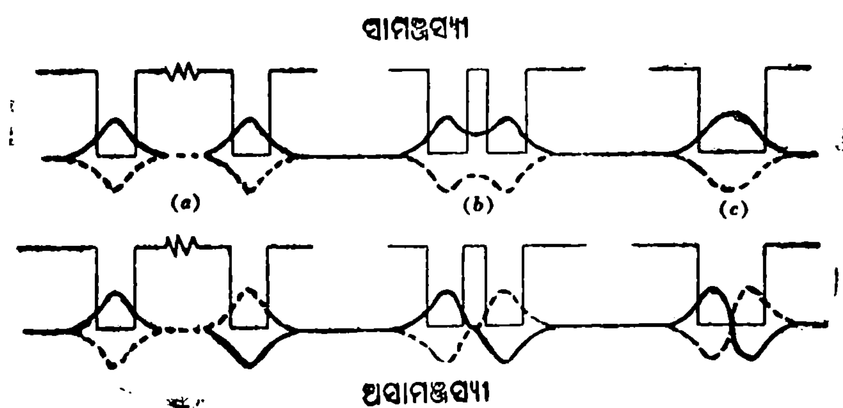
19·5 ବର୍ଗକୂପରେ ବନ୍ଧନ :

ତ୍ରିବିମିତିରେ ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଆଲୋଚନା କରିବାରେ ଗାଣିତିକ ଜଟିଳତା ବହୁତ ବେଶୀ; କିନ୍ତୁ ପାରମାଣବିକ ବନ୍ଧନର ପ୍ରଧାନ ଘଟଣାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ଅନେକ ଗାଣିତିକ ଭାବରେ ଏକ ବିମିତିକ ବର୍ଗକୂପ ମଧ୍ୟରେ ବନ୍ଧନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ସରଳ ଗାଣିତିକ ଆଲୋଚନାରୁ ବୁଝିହେବ । ଆମେ ଦୁଇଟି ଏକା ପ୍ରକାରର P_0 ଗଭୀରତା ବିଶିଷ୍ଟ ବର୍ଗକୂପ ନେବା, ପ୍ରତ୍ୟେକଟି ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁ ରହୁ । ପ୍ରଥମରୁ ଏମାନେ ପରସ୍ପରଠାରୁ ବହୁ ଦୂରରେ ଥାଆନ୍ତୁ ଏବଂ ସେମାନଙ୍କୁ ଏକାଠି କଲେ କ'ଣ ଘଟିବ ତାହା ଆମେ ଆଲୋଚନା କରିବା (ଚିତ୍ର ୧୯·୫) । ପ୍ରତ୍ୟେକ ଅଙ୍କନରେ ଭୂମିଅବସ୍ଥା ପାଇଁ ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ψ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି ।

ψ ଓ $-\psi$ ଦୁହେଁ ଏକା ପରି କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ଆଇଗେନ ଫଳନ । ଯେତେବେଳେ କୂପଗୁଡ଼ିକ ପରସ୍ପରଠାରୁ ବହୁ ଦୂରରେ ଥାଆନ୍ତି (ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ନଥାଏ), ଦୁଇକୂପରେ ψ ପାଇଁ ଯେଉଁ ଚିହ୍ନ ନିଆଗଲେ ମଧ୍ୟ ସଂସ୍ଥିତିର ଶକ୍ତି ସମାନ ଥାଏ । ଯେତେବେଳେ କୂପଗୁଡ଼ିକ ପରସ୍ପର ସଙ୍ଗେ କାର୍ଯ୍ୟ କରେ ମୋଟ ψ_Tର ଚିହ୍ନ ଅପ୍ରଧାନ ରହେ, କିନ୍ତୁ ψର ଚିହ୍ନ ଦୁଇ କୂପରେ ସମାନ (ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ψ_T) ବା ବିପରୀତ (ଅସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ψ_T), ତାହାଉପରେ ନିର୍ଭର କରି ଶକ୍ତି ପାଇଁ ଆମେ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ଆଇଗେନ ମୂଲ୍ୟସବୁ ପାଇଥାଉ । ଏହା ଯେ ସତ୍ୟ, ତାହା ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ψ_T ନିମ୍ନତର ଗତିଜ-ଶକ୍ତି ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ ଥିବାରୁ ମିଳିଥାଏ । ସମୀକରଣ (୧୬·୧୪) ଓ (୧୬·୧୫) ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ Kର ସାମୂହ୍ୟ ମୂଲ୍ୟ $|d\psi/dx|^2$ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ ଏବଂ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ଘଟଣାଟି ପାଇଁ $|d\psi/dx|$ ନିଶ୍ଚିତ

ଭାବରେ ନିମ୍ନତର । କୂପଗୁଡ଼ିକ ମିଳିତ ହେବାବେଳକୁ (ଚିତ୍ର ୧୯.୬ଗ) ସାମଞ୍ଜସ୍ୟୀ ψ_T ଗୋଟିଏ ଦୁଇଗୁଣ ଚଉଡ଼ା କୂପପାଇଁ ଭୂମ୍ୟବସ୍ଥାର ଅନୁରୂପ ହୁଏ; କିନ୍ତୁ ଅସାମଞ୍ଜସ୍ୟୀ ψ_T ପ୍ରଥମ ଉତ୍ତେଜିତ ସ୍ତରର ଅନୁରୂପ ।

ଗୋଟିଏ ସଂସ୍ଥାର ନିମ୍ନତମ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟୀ ଓ ଅସାମଞ୍ଜସ୍ୟୀ ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କର ଅନୁରୂପ ଶକ୍ତି ଚିତ୍ର ୧୯.୭ରେ ଅଙ୍କନ କରାଯାଇଅଛି । ସାମଞ୍ଜସ୍ୟୀ ଅବସ୍ଥା ପାଇଁ R କମିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ପ୍ରତିବନ୍ଧକ ଉଭେଇଯିବାଯାଏ ଏହା ଅବାଧିତ ଭାବରେ କମୁଥାଏ; କିନ୍ତୁ ଅଣସାମଞ୍ଜସ୍ୟୀ ପାଇଁ ଏହା ଅଳ୍ପ ପରିମାଣରେ ବଢ଼ିଥାଏ (କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ଅଳ୍ପ ପରିମାଣରେ ନ୍ୟୂନତର ହୋଇଥାଏ । କୂପମାନେ ପରସ୍ପରର ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ ହେଲେ, କୂପମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ

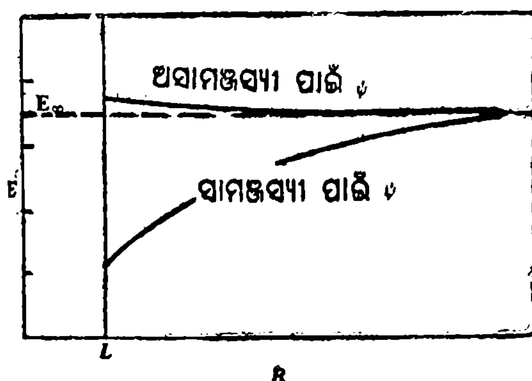


[ଚିତ୍ର ୧୯.୬ ଦୁଇ ବର୍ଗକୂପପାଇଁ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟୀ ଓ ଅସାମଞ୍ଜସ୍ୟୀ ତରଙ୍ଗ ଫଳନ, ଏମାନେ ପରସ୍ପରଠାରୁ (କ) ବହୁଦୂରରେ ଥିବାବେଳେ (ଖ) ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ ହେବାବେଳେ ଓ (ଗ) ଏତେ ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ ଯେ ପ୍ରାଚୀର ଉଭେଇଯାଏ]

ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇବାର ଭୂମ୍ୟବସ୍ଥା ସମ୍ଭାବନା କ୍ଷିପ୍ର ଭାବରେ ବଢ଼ିଯାଏ; ଯେତେ ଯେପରି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ କୂପମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଏପାଖ ସେପାଖ ହୋଇ ଗତି କରୁଅଛି । ଅନେକ ସମୟରେ କୁହାଯାଏ ଯେ, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ କୂପମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସଂନାଦ

କରୁଅଛୁ । ସଂନାଦ ଧାରଣା ଅନୁସାରେ ଦୁଇ କୂପ ମଧ୍ୟରେ ଆକର୍ଷଣ ବଳ $\left(F = -\frac{dE}{dR}\right)$ ସେମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସଂନାଦ ବିନିମୟର ପରିଣତି । ପୁଣି ଦୁଇ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଙ୍କର କେବଳ ଯଦି ବିପରୀତ ଚକ୍ର ରହେ, ଦୁହେଁ ନିମ୍ନାବସ୍ଥା ସ୍ଥାନ ଆଇଗେନ ଫଳନ ଲାଭ କରିପାରିବେ ।

ଏହି ମଡେଲ୍ ସମପରିମାଣରେ ଦୁଇଟି ପରମାଣୁକୁ ଏକାଠି କରିବାରେ ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇପାରିବ । ଏହି ମଡେଲର ମୂଳକଥା ହେଲା; ଯେତେବେଳେ ଦୁଇଟି ସବସମ



[ଚିତ୍ର ୧୯.୭ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ଓ ଅସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କରେ ଶକ୍ତି ଚିତ୍ର ୧୯.୫ରେ ଥିବା ଦୁଇ ବର୍ଗକୂପ ପାଇଁ ବ୍ୟବଧାନର ଫଳନ ସ୍ୱରୂପ]

ସଂସ୍ଥା ପରସ୍ପରର ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ ହୁଅନ୍ତି ଓ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଘଟାନ୍ତି, ପ୍ରତ୍ୟେକ ଅଣ-ଅପଭ୍ରଂଶୀ ଶକ୍ତିସ୍ତର ଦୁଇଟି ସ୍ତରରେ ଭାଙ୍ଗିଯାଏ । ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଯେତେ ଅଧିକ ହୁଏ, ବିଭାଜନ ସେତେ ବେଶୀ ହୁଏ । ଭୌତିକର ସଦୃଶ ଅବସ୍ଥା ଅନେକ ରହିଅଛି । ଯଦି ଦୁଇଟି ସବସମ ସଂନାଦୀ LC କୁଣ୍ଡଳୀ ଏକାଠି କରାଯାଏ, ଯେମାନେ ପାରସ୍ପରିକ ପ୍ରେରଣ ଦ୍ୱାରା ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଘଟାଇବେ, ଅଦୃଢ଼ଭାବେ ଯୋଡ଼ାଯାଇଥିବା କୁଣ୍ଡଳୀଗୁଡ଼ିକର ଦୁଇଟି ସଂନାଦ ସ୍ପନ୍ଦନ ରହିଥିବ । ଏଥିରୁ ଗୋଟିଏ ସଂନାଦ ସ୍ପନ୍ଦନଠାରୁ ଟିକିଏ ଅଧିକ ଓ ଅନ୍ୟଟି ଟିକିଏ କମ୍ ହେବ (ଯେତେବେଳେ ସେମାନେ ଅଲଗା ଅଲଗା ହୋଇଥିବେ,

ସେତେବେଳେ ସେମାନଙ୍କର ସ୍ପନ୍ଦନକୁ ସଂନାଦ ସ୍ପନ୍ଦନ କୁହାଯାଏ) । ସେହିପରି ଯେତେବେଳେ ଦୁଇଟି ସର୍ବସମ ଦୋଳକ ଅନୁରୂପଭାବରେ ଯୋଡ଼ା ହୋଇଥିବେ, ସେମାନଙ୍କର ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଦୁଇଟି ସାଧାରଣ ଭାବରେ ସ୍ପନ୍ଦନ ଦେବ । ଏ ଦୁଇଟିରୁ ଗୋଟିଏ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଦୋଳକର ପ୍ରାକୃତିକ ସ୍ପନ୍ଦନଠାରୁ ସାମାନ୍ୟ ଅଧିକ ଓ ଅନ୍ୟଟି ତାହାଠାରୁ ସାମାନ୍ୟ କମ୍ ହେବ ।

ଯେତେବେଳେ ତିନୋଟି ସର୍ବସମ ବିଗନ୍ଧ (ବା ପରମାଣୁ, ବା LC କୁଣ୍ଡଳୀ, ବା ଦୋଳକ) ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଘଟାନ୍ତି, ଗୋଟିଏ ଶକ୍ତିସ୍ତର (ବା ସ୍ପନ୍ଦନ) ତିନୋଟିରେ ଭଙ୍ଗିଯାଏ । ସାଧାରଣ ଭାବରେ, N ଟି ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଘଟାଉଥିବା କଣିକାଙ୍କ ପାଇଁ ସ୍ତରମାନେ N-ଗୁଣରେ ବିଭକ୍ତ ହୋଇଯାଆନ୍ତି । ଯେତେବେଳେ N ଖୁବ୍ ବଡ଼ ହୁଏ, (ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ଗୋଟିଏ କଠିନବସ୍ତୁ ତିଆରି କରିବାପାଇଁ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଘଟାଇଲା-ବେଳେ) ପ୍ରତ୍ୟେକ ପରମାଣୁ ପାଇଁ ଯାହା ତୀକ୍ଷ୍ଣ ଶକ୍ତିସ୍ତର ହୋଇଥିଲା, ତାହା ଗୋଟିଏ ଶକ୍ତିର ଚଉଡ଼ା ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ ପ୍ରସାରିତ ହୋଇଯାଇପାରେ, ଯେପରି ଏହା ୨୧ ଅଧ୍ୟାୟରେ ଦେଖିବା ।

19·6 ଆଣବିକ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ :

ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ନିସ୍ପାଦିତ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ଧାରାକୁ ନାନାପ୍ରକାରର ଅନ୍ୟ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ରହିଅଛି । ଏଗୁଡ଼ିକ ଦୁଇଟି ବା ତତୋଧିକ ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଗଠିତ ଅଣୁମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ବିକିରିତ ହୋଇଥାଏ । ଯେପରି. ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ଥିବା ଗୋଟିଏ ବିସର୍ଜନ ନଳୀରୁ ନିଃସୃତ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର ଦୃଶ୍ୟମାନ ଅଂଶରେ ମୁକ୍ତ ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ବିକିରିତ ବାମର ଶ୍ରେଣୀର ମାତ୍ର ଚାରି ବା ପାଞ୍ଚୋଟି ରେଖା ଥାଏ । ଏହି ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ଅଣୁଗୁଡ଼ିକର ବିଚ୍ଛେଦନ ଦ୍ୱାରା ଜାତ ହୋଇଥାଏ । ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ରେଖା ଦେଖାଯାଏ । ଏଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରଧାନତଃ ଦୁର୍ବଳ । ଏଗୁଡ଼ିକ ବିଚ୍ଛେଦନ ନହୋଇଥିବା ଅଣୁଗୁଡ଼ିକରୁ ବୋଲି ଧରାଯାଏ । ଯଦି କେହି କାର୍ବନ ଆର୍କର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମଯାକୁ ଗୋଟିଏ ସ୍ୱଳ୍ପ ବିଭେଦନ କ୍ଷମ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରୋସ୍କୋପ ସାହାଯ୍ୟରେ ଦେଖନ୍ତି, ସେ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର ଦୃଶ୍ୟମାନ ଅଂଶର ଏକ ମୁଣ୍ଡରେ

(ବାଇଗଣୀ ଧାରରେ) ବ୍ୟାଣ୍ଡସବୁ ଦେଖିବେ । ଏଗୁଡ଼ିକ ଅତି ଘନିଷ୍ଠଭାବରେ ଥିବେ, ଦୀର୍ଘ-ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ଧାରରେ ଉଜ୍ଜ୍ୱଳତମ ହୋଇଥିବେ ଓ କ୍ଷୁଦ୍ରତର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ଆଡ଼କୁ ଏଗୁଡ଼ିକ ଅଳ୍ପେ ଅଳ୍ପେ ମଳିନ ହୋଇଯାଇଥିବେ । ବିଭାଜନ ଅଧିକ ହେଲେ, ଏହି ବ୍ୟାଣ୍ଡଗୁଡ଼ିକ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ରେଖାର ସମଷ୍ଟି ବୋଲି ଦେଖାଯିବ ଓ ସେଗୁଡ଼ିକ ଦୀର୍ଘ-ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟଧାରଆଡ଼କୁ ବହୁ ସଂଖ୍ୟାରେ ଏକାଠି ହୋଇ ରହିଥିବେ । ଏହି ଧାରକୁ ବ୍ୟାଣ୍ଡର ଶୀର୍ଷ କୁହାଯାଏ । ନିମ୍ନତର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟଆଡ଼କୁ ଏଗୁଡ଼ିକର ବ୍ୟବଧାନ କ୍ରମେ ବଢ଼ିଯାଇଥାଏ । ଏରେଖାଗୁଡ଼ିକ ଏତେ ପାଖାପାଖି ଯେ, ସ୍ୱଳ୍ପ ବିଭାଜନରେ ଗୋଟିଏ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ପରି ଦେଖାଯାଏ । ଏହି ବ୍ୟାଣ୍ଡଗୁଡ଼ିକ ସ୍ୟାନୋଜେନ CN ଅଣୁର ବୋଲି ଧରାଯାଏ । ଜଳପୂର୍ଣ୍ଣ ଆଲୋକରେ ମଧ୍ୟ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ଜଳ ବା ବ୍ୟାଣ୍ଡ ଥାଏ; ଏଗୁଡ଼ିକ ଆଣବିକ ସ୍ୱରୂପରୁ ଜାତ ।

ସାଧାରଣ ଭାବରେ ଯେକୌଣସିପ୍ରକାରର ଅଣୁଦ୍ୱାରା ନିଷ୍କାସିତ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ତିନିଗୋଟି ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ପରିସରରେ ବିଭାଜ୍ୟ । ଏଗୁଡ଼ିକ ଆଣବିକ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ମଧ୍ୟରେ ବିଭିନ୍ନ ପ୍ରକାରର ସଂକ୍ରମଣ ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ (କେତେକ ଅଣୁଙ୍କର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ଏହି ପରିସରମାନଙ୍କରୁ କେବଳ ଗୋଟିକରେ ସୀମିତ ରହେ) । ଅଣୁବିକ ଗଠନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ପୁରାତନ ଅନୁମାନକୁ ନେଇ ସରଳ ଯୁକ୍ତିରୁ ଆଣବିକ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ଏପରି ଘଟଣା ଆମକୁ ସୂଚାଇଦେବ; ଏହି ଯୁକ୍ତିକୁ ବିପରୀତର ଠିକ୍ ତାତ୍ତ୍ୱିକ ଆଲୋଚନାଦୃଷ୍ଟିରୁ ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକ ଭାଷାରେ କେବଳ ପ୍ରକାଶ କରିବା କଥା ।

(୨) ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ : ମନେକର ଗୋଟିଏ ଅଣୁ ଗଠନରେ ଗୋଟିଏ କଠିନ ବସ୍ତୁ ପରି କଳ୍ପ ଏଥିରେ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଚାର୍ଜ ଏପରି ବାଣ୍ଟି ହୋଇ ରହିଛି ଯେ, ତାହା ଫଳରେ ଅଣୁଟିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ରହିଅଛି । ଯଦି ଏହାର ଗୋଟିଏ ଅକ୍ଷ ଘୂରେ, ପୁରାତନ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ, ତେବେ ଏହା ବିକିରଣ କରିବା । ମୂଳତଃ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗୋଟିଏ ବୃତ୍ତରେ ପରିକ୍ରମଣ କଲେ ଯେଉଁ କାରଣରୁ ବିକିରଣ କରିଥାଏ, ସେହି କାରଣରୁ ଏହା ମଧ୍ୟ ବିକିରଣ କରିଥାଏ । ଏହି ବିକିରଣରେ ସାଳେଡ଼ ତରଙ୍ଗସବୁ ଘୂର୍ଣ୍ଣନର ସ୍ପନ୍ଦନ ନେଇ ରହିଥାଏ । ବିପରୀତପକ୍ଷେ, ଏପରି ଗୋଟିଏ ଅଣୁ ଉପରେ ବିକିରଣ ପଡ଼ିଲେ ତାକୁ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କରାଇବ, ଘୂର୍ଣ୍ଣନର ଶକ୍ତି ଏହାସଙ୍ଗେ ଶୋଷିତ ହେବ ।

ଏହି ସରଳ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ରେଖାସବୁ ସୁଦୂର ଲାଲପୁଂଜରେ ଦେଖା ଯାଇଥାଏ ଓ ଏହା ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ହୋଇଥାଏ । ଏଥିରେ ସାଧାରଣତଃ 10^{-6}ରୁ 10^{-8} eV ମଧ୍ୟରେ ଶକ୍ତି ସ୍ତର ନେଇଥାଏ ।

(ଖ) ଦୋଳନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ : ଯଦି ଅଣୁଗୁଡ଼ିକ କଠିନ ପଦାର୍ଥ ନୁହେଁ, ଯଦି ଏଥିରେ ଥିବା ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାର ଅବସ୍ଥାନ ଚାରିପଟେ ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ବଳ ଲାଗି ଦୋଳନ କରନ୍ତାରେ ଏବଂ ଯଦି ବନ୍ଧନଟି ଅସୁଷମ ହୋଇଥିବାରୁ କେତେକ ପରମାଣୁ ଅଧିକା ଯୁକ୍ତ ଚାର୍ଜ ଓ ଅନ୍ୟ କେତେକ ପରମାଣୁ ଅଧିକା ବିଯୁକ୍ତ ଚାର୍ଜ ଧାରଣ କରିଥାଏ; ତେବେ ପୁରାତନ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ଦୋଳନ କରୁଥିବା ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ଆଗ ପଛ ହେବା ସଙ୍ଗେସଙ୍ଗେ ସେମାନଙ୍କଠାରୁ ବିକିରଣ ହୋଇଥାଏ । ଯଦି ଅଣୁଗୁଡ଼ିକ ଏହା ସଙ୍ଗେ ଘୂରୁ ନଥାଏ, ବିକିରିତ ସ୍ପନ୍ଦନ ପାରମାଣବିକ ସ୍ପନ୍ଦନ ସହ ସମାନ ହେବ; କିନ୍ତୁ ଯଦି ଅଣୁଟି ଘୂରୁଥିବ, ବିକିରିତ ରେଖା ଦୁଇଟି ରେଖାରେ ପରିଣତ ହୋଇଯିବ, ପାରମାଣିକ ସ୍ପନ୍ଦନଠାରୁ ଯଥାକ୍ରମେ ସ୍ପନ୍ଦନ ଅଧିକ ଓ କମ୍ ହେବ । ମୂଳତଃ ଜିମାନ ପ୍ରଭାବରେ ପୁରାତନ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ଯେପରି ହୋଇଥାଏ, ଏଠାରେ ସେପରି ହେବ । ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ର ଗୋଟିଏ ଦୋଳନଶୀଳ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ବିକିରଣ କରୁଥିବା ସ୍ପନ୍ଦନକୁ ପରିବର୍ତ୍ତିତ କରି ଦେଇଥାଏ ।

ଅତ୍ର ଏଥି ଆଶା କରାଯିବ ଯେ, ଯଦି ଦୋଳନର ବିସ୍ତାର ଅଧିକ ହୁଏ, ପାରମାଣବିକ ଦୋଳନର ଆବୃତ୍ତି ବଢ଼ିଲେ ମଧ୍ୟ, ଆଉ ଏହା ସରଳ ହାର୍ମନିକ ହେବ ନାହିଁ । ଏହି ଭଳି ଦୋଳନ ପରି ଜଣାଶୁଣା ଉଦାହରଣରେ ମଧ୍ୟ ଠିକ୍ ହେବ । ସେତେବେଳେ ଫୁରିୟର ବିଶ୍ଳେଷଣ ସାହାଯ୍ୟରେ ବିକିରଣକୁ ପାରମାଣବିକ ଦୋଳନ-ମାନଙ୍କର ମୌଳିକ ଓ ଉଚ୍ଚତର ନାଦମାନଙ୍କରେ ତରଙ୍ଗମାଳାରେ ବିଶ୍ଳେଷଣ କରାଯାଇ ପାରେ । ଏହି ସ୍ପନ୍ଦନମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ପ୍ରତ୍ୟେକଟି ଅଣୁମାନଙ୍କର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଫଳରେ ଆହୁରି ଭାଗ ଭାଗ ହୋଇଯାଇପାରିବ ।

ଅନେକ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ଏହି ପୁରାତନ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ମୋଟାମୋଟି ଭାବରେ ଲାଲ ପୁଂଜ ଉପର ମଧ୍ୟରେ ଦେଖାଯାଇଅଛି ଏ ଏଗୁଡ଼ିକ ଦୋଳନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ବୋଲି କୁହାଯାଏ । ଫୋଟନ ଶକ୍ତି ସାଧାରଣତଃ 0·2ରୁ 2eV ମଧ୍ୟରେ ରହିଥାଏ ।

(ଗ) ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରୋନୀୟ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ : ଶେଷରେ ପୂର୍ବତନ ଧାରଣା ଅନୁସାରେ ଗୋଟିଏ ଅଣୁ ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ନିଜେ ନିଜେ ଦୋଳନ କରିପାରେ, ତେଣୁ ବିକିରଣ କରିପାରେ । କିନ୍ତୁ ନିଷ୍କାସିତ ବିକିରଣଟି ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ଅଣୁ ମଧ୍ୟରେ ଦୋଳନ ଓ ସମସ୍ତ ଅଣୁର ଘୂର୍ଣ୍ଣନଦ୍ୱାରା ପ୍ରଭାବିତ ହୋଇଥାଏ, ବୋଧହୁଏ ବାହ୍ୟ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ଗୋଟିଏ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମର ଦୃଶ୍ୟମାନ ଅଂଶରେ ବିକିରଣ କରିଥାଏ ଏବଂ ଏହାର ସ୍ପନ୍ଦନ ବିଚଳନମାନଙ୍କର ତାତ୍କାଳିକ ଅବସ୍ଥାନ ଓ ଗତିଦ୍ୱାରା ବହୁ ପରିମାଣରେ ପ୍ରଭାବିତ ହୋଇଥାଏ । ଅଣୁଟିର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ, ଦୋଳନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମରେ ଗତି କଳ୍ପିତ, ବିକଶିତ ରେଖାକୁ ବିଭାଜନ କରିଥାଏ । ଆଗରୁ ବର୍ଣ୍ଣିତ ସଂକୋଚନ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ଯଦି ଦୃଶ୍ୟମାନ ଓ ବାଇଗେଣୀ ପର ଆଲୋକ ପରିସରରେ ଆଣବିକ ବ୍ୟାଣ୍ଡକୁ ମୋଟାମୋଟି ଏହି ତତ୍ତ୍ୱୀୟ ପୂର୍ବତନ ତତ୍ତ୍ୱର ଅନୁରୂପ ।

ଏହିପରି ବର୍ଣ୍ଣିତ ତିନିପ୍ରକାରର ଆଣବିକ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ୍ କ୍ରମେ ସଂକ୍ଷିପ୍ତ ଆଲୋଚନା ପାଇଁ ସୂଚିତ ହେବ ।

19·7 ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ :

ପ୍ରକୃତ ଅଣୁମାନଙ୍କର କେତେକ ବିଷୟରେ ଗୁଣାଗୁଣ ପ୍ରକାଶ କରିବାପାଇଁ ଗୋଟିଏ ସରଳ ମଡେଲ ଭାବରେ, ଗୋଟିଏ ଅଣୁରେ କେତେକ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବିନ୍ଦୁ ପରସ୍ପରଠାରୁ କେତେକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଦୂରତାରେ ଦୃଢ଼ଭାବରେ ଆବଦ୍ଧ ହୋଇ ରହିଛନ୍ତି ବୋଲି ଅନୁମାନ କରିବା । ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଅନୁସାରେ ଏପରି ଗୋଟିଏ ଅଣୁ ପାଇଁ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ କୌଣିକ ସଂବେଗର ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ ମିଳିଥାଏ, ଠିକ୍ ଯେପରି ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁର ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ ମିଳିଥାଏ । କିନ୍ତୁ ଅନୁରୂପ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା j ଏଠାରେ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ଗୁଡ଼ିକରୁ (ଏଥିମଧ୍ୟରେ ଶୂନ୍ୟ ମିଳିଥାଏ) ସୀମିତ ହୋଇଥାଏ । ଏହାପରେ ଆଲୋଚନା ପ୍ରାୟ ଦ୍ୱିପରମାଣୁକ ଅଣୁ ଗୁଡ଼ିକରେ ଆବଦ୍ଧ ରହିବ । ପ୍ରତି ଅଣୁଟିରେ ଦୁଇଟି ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବିନ୍ଦୁ ଥାଏ, ସେମାନଙ୍କୁ ଯୋଗ କରୁଥିବା ରେଖା ଗୋଟିଏ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ଅକ୍ଷ । କେବଳ ଏହି ରେଖାକୁ ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ରହିଥିବା ଅକ୍ଷଗୁଡ଼ିକ ଚାରିପଟେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନର କୌଣସି ପ୍ରାଧାନ୍ୟ ରହିଅଛି । ଅଣୁ ମଧ୍ୟ ଏପରି ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ଥିବା ସମସ୍ତ ଅକ୍ଷ ସ୍ୱ ଚାରିପଟେ ଜଡ଼ତାର ଆଘୂର୍ଣ୍ଣର ସମାନ ମୂଲ୍ୟ ଥାଏ ।

କୌଣିକ ସଂବେଗ ଓ ଶକ୍ତି ମଧ୍ୟରେ ସମ୍ବନ୍ଧ ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକୀରେ ଓ ପୁରାତନ ଭୌତିକୀରେ ଏକା ମିଳିଥାଏ । ତେଣୁ, କୌଣିକ ସଂବେଗ A ଓ ଶକ୍ତି E ପାଇଁ କୌଣିକ ଗତିବେଗ w ଓ ଜଡ଼ତ୍ୱର ଆଘୂର୍ଣ୍ଣି Iରେ ଆମେ ପାଇବା,

$$A = Iw \qquad E = \frac{1}{2} Iw^2$$

ତେଣୁ

$$E = \frac{A^2}{2I}$$

A^2ରେ ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ମୂଲ୍ୟ ବସାଇଲେ ଆମେ ପାଇବା

$$A^2 = J(J+1)\hbar^2$$

$$E = J(J+1)\frac{\hbar^2}{2I}$$

$$= J\frac{(J+1)h^2}{8\pi^2 I} \qquad (୧୯.୩)$$

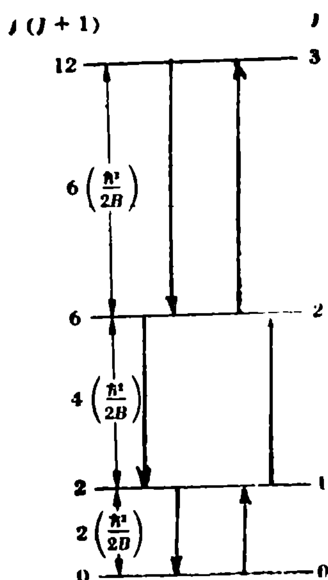
ଏଥିରେ ଗୋଟିଏ ଅଣୁର ଯଦି ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ଥାଏ, ତେବେ ଯାଇ ଏହା ଦ୍ୱିଧ୍ରୁବ ବିକିରଣ ଦ୍ୱାରା ବିକିରଣ କରି ପାରିବ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ଯଦି ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁକୁ ବିନ୍ଦୁ ସହିତ ଯୁକ୍ତ ଚାର୍ଜ ଓ ଅନ୍ୟ ବସ୍ତୁକୁ ବିନ୍ଦୁ ସହିତ ସମପରିମାଣର ବିଯୁକ୍ତ ଚାର୍ଜ ସଂଯୁକ୍ତ ହୋଇଥାଏ, ତେବେ ଅଣୁଟିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣି ରହିବ । ସେତେବେଳେ J ପାଇଁ ସ୍ଥିର ନିୟମ ଗୋଟିଏ କେନ୍ଦ୍ରୀୟ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର l କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା ପାଇଁ ସମାନ ହୋଇଥାଏ;

$$\triangle J = \pm 1$$

ଯେହେତୁ ଉପସ୍ଥିତ ପଦ୍ଧତିରେ E ଓ J ଏକସଙ୍ଗେ ବୃଦ୍ଧି ପାଇଥାଏ ବା ହ୍ରାସ ପାଉଥାଏ, $\triangle J = -1$ କେବଳ ବିକିରଣର ଅନୁରୂପ ଏବଂ $\triangle J = +1$ ଶୋଷଣର ଅନୁରୂପ । J ଅବସ୍ଥାରୁ J − 1 ଅବସ୍ଥାକୁ ସଂକ୍ରମଣରେ ବିକିରିତ ସ୍ପନ୍ଦନ ହେବ

$$\nu = \frac{\triangle E}{h} = 2BJ \qquad (୧୯.୪କ)$$

$$B = \frac{h}{8\pi^2 I} \qquad (୧୯.୪ଖ)$$



[ଚିତ୍ର ୧୯.୭ ଗୋଟିଏ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ପାଇଁ ଶକ୍ତିସ୍ତର ଚିତ୍ର]

କାରଣ $J(J+1) - (J-1)(J-1+1) = 2J$ ।

ତେଣୁ ଅଣୁଟି ଯେଉଁ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ବିକିରଣ କରେ, ସେଥିରେ ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ସଂଖ୍ୟା B ର ଗୁଣିତକ ସ୍ପନ୍ଦନ ବିଶିଷ୍ଟ ସମ ଦୂରତାରେ ଥିବା ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ଥାଏ । ଗୋଟିଏ ବିକିରଣ ରେଖାପାଇଁ ଆବଶ୍ୟକ ସଂକ୍ରମଣ ପାଇଁ J ଗୋଟିଏ ମୂଳ ଅବସ୍ଥାକୁ ବୁଝାଇଥାଏ, ଗୋଟିଏ ଶୋଷଣ ରେଖାପାଇଁ ଏହା ଶେଷ ଅବସ୍ଥାକୁ ବୁଝାଇଥାଏ । ଚିତ୍ର ୧୯.୭ରେ ଅନୁରୂପ ଶକ୍ତିସ୍ତର ରେଖାଚିତ୍ର ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି ।

ଗ୍ୟାସ ଅବସ୍ଥାରେ ସମସ୍ତ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ହାଲାଇଡ୍ ସୁଦୂର ଲାଲ ପୁଞ୍ଜରେ ତୀବ୍ର ଶୋଷଣ ରେଖାସବୁ ଦେଖାଇଥାଏ, ଏଗୁଡ଼ିକ ମୋଟାମୋଟି ସମଦୂରତାରେ ରହିଥାନ୍ତି ଏବଂ ଏଗୁଡ଼ିକର ତରଙ୍ଗସଂଖ୍ୟାଗୁଡ଼ିକ ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ସଂଖ୍ୟାର ମୋଟାମୋଟି ଗୁଣିତକ ହୋଇଥାଏ । ଏ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ଯେତେବେଳେ ଅଣୁର କେବଳ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଅବସ୍ଥାରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୁଏ, ସେତେବେଳେ ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଥାଏ ବୋଲି ମନେ କରାଯାଏ ।

ମୋଟାମୋଟି ଏଠାରେ ବର୍ଣ୍ଣିତ ସରଳ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ଘଟିଥାଏ । ତେଣୁ Hcl ପାଇଁ 120ରୁ 44μ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ମଧ୍ୟରେ ଘେନ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ଶୋଷଣ ସର୍ବାଧିକ ଅବସ୍ଥା (ମାକ୍‌ସିମମ୍) ଦେଖିଲେ । ଟେବୁଲ ୧୯'୧ରେ ଅନୁରୂପ ତରଙ୍ଗସଂଖ୍ୟାଗୁଡ଼ିକ $\bar{\nu}$ ଭାବରେ ଲେଖାଯାଇଅଛି । J ସ୍ତମ୍ଭରେ ପ୍ରତି ସଂକ୍ରମଣରେ ସଂପୃକ୍ତ Jର ଦୁଇ ମୂଲ୍ୟ ମଧ୍ୟରୁ ଅଧିକ ମୂଲ୍ୟଟି ଦିଆଯାଇଅଛି । ଆମେ ଦେଖୁଛୁ ଯେ, ସର୍ବାଧିକ ମୂଲ୍ୟମାନଙ୍କର ଅନ୍ତର ପ୍ରାୟ ସମାନ ରହୁଅଛି, କେବଳ ସାମାନ୍ୟ ତାରତମ୍ୟ ଦେଖାଯାଉଅଛି । Jର ଆଧିକ୍ୟ ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ $\Delta \bar{\nu}$ରେ ହ୍ରାସ ଓ ସେହି କାରଣରୁ Bରୁ ପ୍ରଗତ ହେଉଥିବା ମୂଲ୍ୟରେ ହୋଇଥାଏ । ଏଥିରୁ ସୂଚିତ ହୁଏ ଯେ Iରେ ବୃଦ୍ଧି ହୋଇଅଛି । ଯଦି ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ଦୃଢ଼ ଭାବରେ ଅବଦ୍ଧ ନରହନ୍ତି ଓ ଘୂର୍ଣ୍ଣନରେ ବେଗ ବୃଦ୍ଧି ସଙ୍ଗେ କେନ୍ଦ୍ରାପସାରୀ କ୍ରିୟାଦ୍ୱାରା ସାମାନ୍ୟ ଟାଣିହୋଇ ବାହାରିଯାନ୍ତି, ତେବେ ଏପରି ଆଶା କରିବାକଥା । (୧୯'୪କ, ଖ)ରେ $\nu = 83{\cdot}03 \times 3 \times 10^{-10}$ ଓ $J = 4$ ବସାଇଲେ ଆମେ ପାଇବା Hcl ପାଇଁ

$$I = 2{\cdot}7 \times 10^{-47}\ Kg-m^2 \text{ ।}$$

ଟେବୁଲ ୧୯.୧ରେ ସୁଦୂର ଲାଲ ପୁଞ୍ଜରେ *Hcl* ପାଇଁ ଶୋଷଣ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ

l	$\bar{\nu}$, cm^{-1}	$\Delta\bar{\nu}$, cm^{-1}
4	83·03	20·70
5	103·73	20·57
6	124·30	20·73
7	145·03	20·48
8	165·51	20·35
9	185·86	20·52
10	206·38	20·12
11	226·50	

19·8 ଦୋଳନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ .

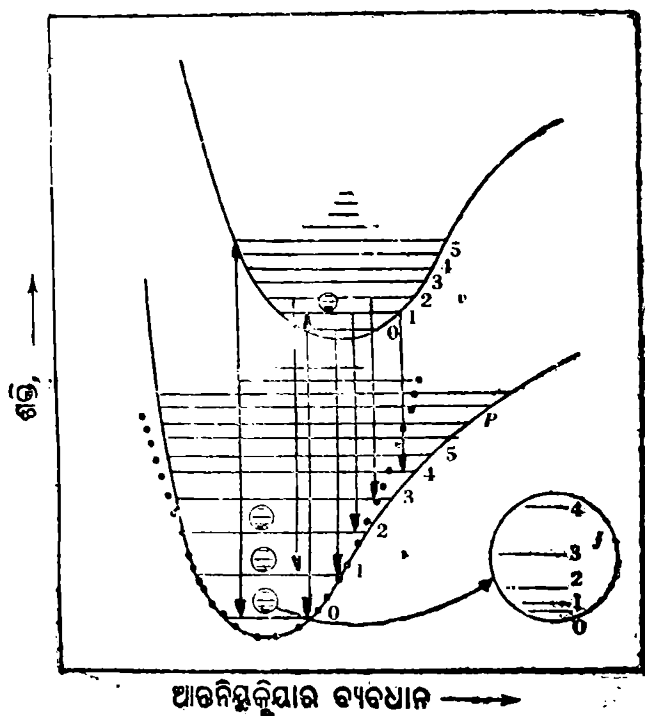
(କ) ଗୋଟିଏ ଦୋଳାୟମାନ ଦ୍ୱି ପାରମାଣବିକ ଅଣୁ ପାଇଁ ସ୍ଥୂଳ ତତ୍ତ୍ୱ :

ଯେଉଁ ଦ୍ୱି ପାରମାଣବିକ ଅଣୁରେ ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ଦୋଳନ ଘଟିଥାଏ, ତାହାର ଗୋଟିଏ ସରଳ ମଡେଲ ନେଇ, ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକୁ ବସ୍ତୁବିନ୍ଦୁ ବୋଲି ନେଇ ସେମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ଦୂରତା ଅନୁସାରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହେଉଥିବା ବଳଗୁଡ଼ିକ ସାହାଯ୍ୟରେ ସେଗୁଡ଼ିକ ପରସ୍ପର ସହିତ ବାନ୍ଧି ହୋଇ ରହିଛନ୍ତି ବୋଲି ଅନୁମାନ କରିବା । ଏହି ବଳ

ଗୁଡ଼ିକ ଗୋଟିଏ ସ୍ଥିତିଜଶକ୍ତି Pର ଅନୁରୂପ ହୁଅନ୍ତି । ଏହାକୁ ପାରମାଣବିକ କେନ୍ଦ୍ରମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଦୂରତ୍ୱ rର ଫଳନ ସ୍ୱରୂପରେ ଅଙ୍କନ କଲେ ଚିତ୍ର ୧୯.୮ର P ଚିହ୍ନିତ ରେଖା ମିଳିବ । ସୁବିଧାକୁ $r=\infty$ଠାରେ ସ୍ଥିତିଜଶକ୍ତି ଶୂନ୍ୟ ବୋଲି ଧରାଯାଇଅଛି । ଦୁଇ ପରମାଣୁ ମଧ୍ୟରୁ ଗୋଟିଏ ଅନ୍ୟଟି ଉପରେ ପକାଉଥିବା ବଳ ଏହି ରେଖାର ଅବକଳଜକୁ ଅନୁପାତୀ । r_0ଠାରେ Pର ବାହାର ଚାପକୁ ସର୍ବନିମ୍ନ ମୂଲ୍ୟ ହେଉଅଛି । ବଳଟି ଆକର୍ଷଣୀୟ ହେଉଅଛି; $r>r_0$ ପାଇଁ ବିକର୍ଷଣୀୟ ଅତି କ୍ଷିପ୍ର ଗତିରେ ବୃଦ୍ଧି ପାଇଥାଏ । ସ୍ୱାଭାବିକ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ଏପରି ଏକ ବଳର ପ୍ରଭାବରେ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ସ୍ଥିର ରହିପାରନ୍ତି ଓ r_0 ଦୂରତାରେ ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ରହିପାରନ୍ତି । ଯଦି ଅଳ୍ପ ପରିମାଣରେ ବିଚ୍ୟୁତ ହୁଅନ୍ତି ସେମାନେ ଏହି ବିନ୍ଦୁ ସ୍ୱରୂପରେ ଦୋଳନ କରନ୍ତି; କିନ୍ତୁ P_0ଠାରୁ ଅଧିକ ଗତିଜ ଶକ୍ତି ପାଇଲେ (ଏଠାରେ P_0 ହେଲା $r=r_0$ଠାରେ Pର ମୂଲ୍ୟ) ସେମାନେ ପରସ୍ପରଠାରୁ ଦୂରେଇ ଯାଆନ୍ତି, ଅର୍ଥାତ୍ ଅଣୁଟିର ବିଚ୍ଛେଦନ ଆରମ୍ଭ ହୋଇଯାଏ । ଏପରି ଗୋଟିଏ ଦ୍ୱି-ଅଣୁମାନଙ୍କର ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ଗୁଣଗୁଡ଼ିକର ଅନୁରୂପ ଏବଂ ଏହା ଚିରସମ୍ମତଙ୍କର ତତ୍ତ୍ୱମାନଙ୍କୁ ମଧ୍ୟ ମିଳିଥାଏ ।

କିନ୍ତୁ ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଅନୁସାରେ, ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକର ପରସ୍ପର ତୁଳନାରେ ବିଭିନ୍ନ ସ୍ଥାନରେ ଚିତ୍ର ୧୯.୮ରେ ଅନୁଭୂମିକ ରେଖାଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ଶକ୍ତିସବୁ ନେଇ ରହିଥିବା ବେଳେ ଗୋଟିଏ ସେଟ୍‌ର ବିଚ୍ଛିନ୍ନ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥା ଥିବ ବୋଲି ଜଣାଯିବ । ଏହି କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ମଧ୍ୟରେ ସର୍ବନିମ୍ନ ଅବସ୍ଥା, P_0ଠାରୁ ସାମାନ୍ୟ ଅଧିକ ଶକ୍ତିର ଅନୁରୂପ ହେବ, ଏହି ସର୍ବନିମ୍ନ ଅବସ୍ଥାରେ ମଧ୍ୟ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକର କେତେକ ପରିମାଣରେ ଗତିଜଶକ୍ତି ରହିଥିବ । ଏହା ଗୋଟିଏ ହାର୍ମୋନିକ ଦୋଳକର ଶୂନ୍ୟବିନ୍ଦୁ ଶକ୍ତି $h\nu/2$ର ଅନୁରୂପ । ତେଣୁ ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଦୂରତ୍ୱ ଏହି ଅବସ୍ଥାରେ ମଧ୍ୟ ସ୍ଥିର ନୁହେଁ, ତଥାପି ଏହି ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟସ୍ଥ ଦୂରତା r_0ର ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ ହେବ । କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକୁ ଶକ୍ତିର ବୃଦ୍ଧି ଅନୁସାରେ ସଂଖ୍ୟା ଦିଆଯାଉ, ଗୋଟିଏ ଅବସ୍ଥାର ସଂଖ୍ୟାକୁ $\nu\geq0$ ଦ୍ୱାରା ସୂଚିତ କରାଯାଉ । ଅନୁରୂପ ଶକ୍ତିକୁ E_ν ଦ୍ୱାରା ସୂଚିତ କରାଯାଉ । E_νର ସମସ୍ତ ମୂଲ୍ୟ ବିଯୁକ୍ତ, ଯେତେବେଳେ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ଅନନ୍ତରେ ସ୍ଥିରଭାବରେ ରହିଥାନ୍ତି ସେ ଅବସ୍ଥାର ଶକ୍ତି ପରିମାଣକୁ ଶୂନ୍ୟ ବୋଲି ନିଆଯାଇଅଛି । ତେଣୁ $-E_\nu$ ଅଣୁର ବିଚ୍ଛେଦନ ଶକ୍ତି, ଅଣୁଟି

v ଅବସ୍ଥା ସଂଖ୍ୟାରେ ଥାଇ ନପାରୁଥିବାବେଳେ ବୁଝାଉ । ବିଚ୍ଛିନ୍ନ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ମୋଟ ସଂଖ୍ୟା ବିଭବ ରେଖାର ଆକାର ଉପରେ ନିର୍ଭର କରି ସସୀମ ବା ଅସୀମ ହୋଇପାରେ ।



[ଚିତ୍ର ୧୯.୮ ଗୋଟିଏ ଦ୍ୱିପାରମାଣିକ ଅଣୁର ଇଲେକଟ୍ରୋନୀୟ ଭୂମ୍ୟବସ୍ଥାରେ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି P ଓ ଦୋଳନ ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ; ପ୍ରତି ଦୋଳନ ସ୍ତର ସହିତ ସ୍ତର ସମ୍ପୃକ୍ତ ଅନେକ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସ୍ତର । ବିନ୍ଦୁଯୁକ୍ତ ରେଖା ଗୋଟିଏ ସରଳ ହାର୍ମୋନିକ ଦୋଳକର ସ୍ଥିତିଜ ଫଳନ ବୁଝାଉଛି । ଗୋଟିଏ ଉତ୍ତେଜିତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋନୀୟ ଅବସ୍ଥା ଏହାର କେତେକ ଦୋଳନ ସ୍ତର ଓ କେତେକ ଇଲେକଟ୍ରୋନୀୟ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ସଂକ୍ରମଣ ସହ (ଅନୁ. ୧୯.୧୦)ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି]

ପ୍ରଥମ କେତୋଟି ଅବସ୍ଥାର ତରଙ୍ଗଫଳନଗୁଡ଼ିକ ଓ ଶକ୍ତିଗୁଡ଼ିକ ହାର୍ମୋନିକ ଦୋଳକର ସଦୃଶ ରାଶିଗୁଡ଼ିକ ସହ ସମାନ । କାରଣ ଯଦି Pକୁ $r = r_0$ ପାଖେ ଟେଲର ସିରିଜ୍‌ରେ ପ୍ରସାର କରାଯାଏ ଏବଂ ଲକ୍ଷ୍ୟ କରୁ ଯେ $r = r_0$ ଠାରେ $\dfrac{dP}{dr} = 0$; ଆମେ ପାଉ,

$$P = P_0 + \tfrac{1}{2}\left(\frac{d^2P}{dr^2}\right)_{r=r_0}(r - r_0) + \tfrac{1}{6}\left(\frac{d^3P}{dr^3}\right)_{r=r_0}(r - r_0)^3 + \cdots \quad (୧୯.୫)$$

ଏହି ସିରିଜ୍‌ର ପ୍ରଥମ ଦୁଇଟି ପଦ, ଗୋଟିଏ ହାର୍ମୋନିକ୍ ଦୋଳକରେ $\left(\dfrac{d^2P}{dr^2}\right)_{r=r_0}$ ହିଁ ଧ୍ରୁବ βର କାର୍ଯ୍ୟ କଲାବେଳେ, ଦେଉଥିବା ବିଭବ ଫଳନ ସହିତ ସମାନ । $r = r_0$ଠାରେ ଅତି ନିକଟ ସ୍ତରରେ ହାର୍ମୋନିକ ଦୋଳକର ରେଖା (ବିନ୍ଦୁଯୁକ୍ତ ରେଖା)କୁ ହାର୍ମୋନିକ ଦୋଳକରେ ସମୀକରଣ (୧୩.୨୮)ରେ vଟି nର କାର୍ଯ୍ୟ କଲାବେଳେ ମିଳୁଥିବା ଶକ୍ତିସ୍ତରଗୁଡ଼ିକର ଅନୁରୂପ । ଯେପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ହାର୍ମୋନିକ୍ ଦୋଳକର ରେଖାର ଅନୁସରଣ କରାଯାଉଥିବ, ଦୋଳନ ଶକ୍ତିସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ

$$E_v = (v + \tfrac{1}{2})h\nu_0 \qquad (୧୯.୫୦)$$

ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ । ଏଠାରେ $\nu_0 = \left(\dfrac{d^2P}{dr^2}\right)^{\frac{1}{2}} / 2\pi m_r^{\frac{1}{2}}$ (m_r ହେଉଛି ଦୋଳାୟମାନ ସଂସ୍ଥାର ପରୋକ୍ଷମୀ ବସ୍ତୁତ୍ୱ) ଓ ଏଠାରେ ଶକ୍ତି r_0ଠାରେ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ରେଖାର ସର୍ବନିମ୍ନ ମୂଲ୍ୟ ତୁଳନାରେ ମାପ କରାଯାଉଛି ।

vର ବୃଦ୍ଧି ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ପାରାବୋଲୀୟ ଆକୃତିରୁ ଦୂରେଇଯାଏ ଓ ଦୋଳନ-ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ପାଖାପାଖି ହୋଇଯାଆନ୍ତି । ଉଚ୍ଚତର ଦୋଳନ ସ୍ତରମାନଙ୍କରେ ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ହାରାହାରି ବ୍ୟବଧାନ ନିମ୍ନତର ସ୍ତରମାନଙ୍କରେ ଏହି ବ୍ୟବଧାନ ଅପେକ୍ଷା ଅଧିକ ହୁଏ । ତାପମାତ୍ରା ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଅଣୁଟି ଉଚ୍ଚତର ଦୋଳନ ସ୍ତରମାନଙ୍କରେ ମିଳିବାର ସମ୍ଭାବନା ଥାଏ ଓ ହାରାହାରି ଅନ୍ତଃପାରମାଣିକ ଦୂରତ୍ୱ ବଢ଼ିଯାଇଥାଏ । ଉଚ୍ଚତର ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କପାଇଁ ତରଙ୍ଗଫଳନ ଓ ଶକ୍ତିଗୁଡ଼ିକ ଗୋଟିଏ ଦୋଳକର ତାଦୃଶ ରାଶିମାନଙ୍କଠାରୁ ବହୁତ ପରିମାଣରେ ପୃଥକ୍ ହୋଇଯାଏ, କାରଣ ସିରିଜ୍‌ର ଅବଶିଷ୍ଟ

ପଦଗୁଡ଼ିକ ଏଥିରେ ପ୍ରଭାବ ପକାଇଥାଏ । ତେଣୁ ଦ୍ୱାମିକ ଦୋଳନ ପାଇଁ ବର୍ଜ୍ଜ ନିୟମ $\Delta v = \pm 1$, ଆଉ ଦ୍ୱିପରମାଣବିକ ଅଣୁ ପାଇଁ ସାଧାରଣ ଭାବରେ, କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହେବ ନାହିଁ । ଏପରିକି $\Delta v = 0$ ମଧ୍ୟ ସମ୍ଭବ ହେବ । କିନ୍ତୁ Δv ଟି 1 ଉପରକୁ ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ସଂକ୍ରମଣର ସମ୍ଭାବନା ଅତିବେଗରେ କମିଯିବା ଆଶା କରାଯାଏ ।

ସମସ୍ତ ଅଣୁ ପାଇଁ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ପାଇବାକୁ ଘୂର୍ଣ୍ଣନପାଇଁ ବ୍ୟବସ୍ଥା କରାଯିବା ଦରକାର । ଯଥେଷ୍ଟ ଆସନ୍ନ ଭାବରେ ଆମେ ଯଦି ଅନୁମାନ କରିବା ଯେ, ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଓ ଦୋଳନର ଶକ୍ତିଗୁଡ଼ିକ ଯୋଗଧର୍ମ, ଆମେ ସମୀକରଣ (୧୯·୩)ରୁ ମୋଟ ଶକ୍ତି ପାଇଁ ଲେଖିପାରିବା।

$$E = E_v + J\,(J+1)\,Bh \qquad (୧୯·୭କ)$$

$$B = \frac{h}{8\pi^2 I} \qquad (୧୯·୭ଖ)$$

E_vର ବିଭିନ୍ନ ମୂଲ୍ୟ ଅଣୁର ଦୋଳନ ସ୍ତର ବୋଲି କୁହାଯାଏ; ସମୀକରଣ (୧୯·୭)ରେ ଡାହାଣ ପକ୍ଷର ଦ୍ୱିତୀୟ ପଦ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ଶକ୍ତି ପରିମାଣକୁ ଦୋଳନ-ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସ୍ତର କୁହାଯାଏ ବା କେବଳ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସ୍ତର କୁହାଯାଏ । ପ୍ରକୃତ କ୍ଷେତ୍ରରେ E_vର ବିଭିନ୍ନ ପାର୍ଶ୍ୱବର୍ତ୍ତୀ ମୂଲ୍ୟର ତାରତମ୍ୟ ତୁଳନାରେ ସାଧାରଣତଃ Bh ଅତ୍ୟନ୍ତ କ୍ଷୁଦ୍ର, ତେଣୁ ପ୍ରତି ଦୋଳନ ସ୍ତର ସହିତ ଥିବା ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ଗୋଟିଏ ଅତି ନିକଟ ନିକଟଭାବେ ରହିଥିବା ଦଳ ଗଠନ କରିଥାଏ । ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-ଦୋଳନ ସ୍ତରମାନଙ୍କର ସାଧାରଣ ଅବସ୍ଥାନ ଚିତ୍ର ୧୯·୯ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । କିନ୍ତୁ ଏଥିରେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସ୍ତରମାନଙ୍କର ତୁଳନାତ୍ମକ ବ୍ୟବଧାନ ବହୁ ପରିମାଣରେ ବଢ଼ାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି ଏବଂ ଏହି ସ୍ତରମାନଙ୍କରୁ ଅଳ୍ପ କେତୋଟି ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି ।

ତୁଳନାତ୍ମକ ଭାବରେ B ନ୍ୟୁନ ହୋଇଥିବାରୁ ଦୁଇଟି ଦତ୍ତ ଦୋଳନ ସ୍ତରରୁ ସଂକ୍ରମଣ ଦ୍ୱାରା ଜାତ ସମସ୍ତ ରେଖା ପାଖାପାଖି ହୋଇ ରହିବେ; ସେମାନେ ଗୋଟିଏ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ଗଠନ କରିବେ ବୋଲି କୁହାଯାଏ, କାରଣ ସ୍ୱଳ୍ପ ବିଭେଦନ କ୍ଷମତାରେ ସେମାନେ ପୃଥକ୍ ନ ଦେଖାଯାନ୍ତି । କେବଳ ଦୋଳନ ଓ ବୋଧହୁଏ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଶକ୍ତି ବଦଳୁଥିବା ସଂକ୍ରମଣମାନଙ୍କରେ ସୃଷ୍ଟି ବ୍ୟାଣ୍ଡଗୁଡ଼ିକୁ ଦୋଳନ-ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ବ୍ୟାଣ୍ଡ କୁହାଯାଏ ।

ଯେଉଁ ଅଣୁଗୁଡ଼ିକ ଦୁଇଟି ବସ୍ତୁରୁ କେନ୍ଦ୍ରଦ୍ୱାରା ଗଠିତ, ସେଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ J ର ବରଣ ନିୟମ ହେବ (କେବଳ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ପାଇଁ ଯେପରି ହୋଇଥାଏ)

$$\triangle J = \pm 1$$

ଅଧିକ ଜଟିଳ ଗଠନ ବିଶିଷ୍ଟ ବଡ଼ ଅଣୁ ପାଇଁ $\triangle J = 0$ ମଧ୍ୟ ଅନୁମତ । $\triangle J = \pm 1$ ନିୟମ ଦ୍ୱାରା ଅନୁମତ କେତେକ ସଂକ୍ରମଣ ଚିତ୍ର ୧୯.୯ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି ।

ସମୀକରଣ (୧୯.୬ କ)ରେ ଶକ୍ତି ପାଇଁ ଦିଆଯିବା, ଅସନ୍ନ ଉପସ୍ତର ସ୍ତର $\nu', J-1$ ଓ ν', J ମଧ୍ୟରେ ବା ν', J ଓ $\nu'', J-1$ ମଧ୍ୟରେ ସଂକ୍ରମଣ ପାଇଁ ବର୍ଣ୍ଣାଳୀ ରେଖାଗୁଡ଼ିକର ମୂଲ୍ୟ ଯଥାକ୍ରମେ ପାଇବା,

$$\nu', J-1; \nu'', J$$

$$\nu = \nu_{v', v''} - 2BJ \qquad J-1, 2, 3 \qquad (୧୯.୭କ)$$

$$\nu', J; \nu'', J-1$$

$$\nu = \nu_{v', v''} + 2Bj \qquad J = 1, 2, 3 \qquad (୧୯.୬ଖ)$$

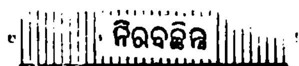
$$\nu_{v', v''} = \frac{E_{v'} - E_{v''}}{h} \qquad (୧୯.୭ଗ)$$

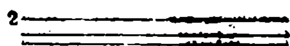
ଏଠାରେ ଅନୁମାନ କରାଯାଇଅଛି ଯେ $\nu' > \nu''$ ଓ $E_{v'} > E_{v''}$ ।

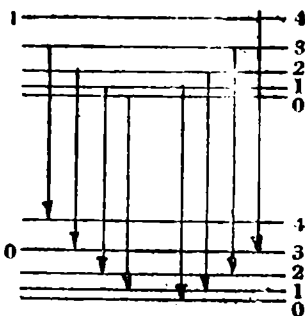
ସମୀକରଣ (୧୯.୭କ, ଖ) ଅନୁସାରେ ଗୋଟିଏ ଦ୍ୱିପାରମାଣବିକ ଅଣୁଦ୍ୱାରା ବର୍ଣ୍ଣାଳୀ ଗୋଟିଏ ଦୋଳନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ ଥିବା ରେଖାସବୁ ଆବୃତ୍ତି ଦୃଷ୍ଟିରୁ ସମ-ଅନ୍ତରରେ ରହିବା ଉଚିତ । ସେମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଅନ୍ତର 2B ହେବ । କିନ୍ତୁ, ଏହା ସ୍ପଷ୍ଟ ଯେ, $\nu = \nu_{v', v''} + 2B$ ଓ $\nu_{v', v''} - 2B$ । ବ୍ୟାଣ୍ଡର କେନ୍ଦ୍ରସ୍ଥ ରେଖା ଏହି କାରଣରୁ ଦେଖାଯିବନାହିଁ, ଏହା ଚିତ୍ର ୧୯.୯ ଓ ୧୯.୧୦ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି ।

(ଗ) ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଓ ଦୋଳନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ବ୍ୟାଣ୍ଡମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସମ୍ବନ୍ଧ— କୌଣସି ଗୋଟିଏ ଦତ୍ତ ବସ୍ତୁର କେବଳ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ଓ ଦୋଳନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ବ୍ୟାଣ୍ଡ-

ମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ କୌଣସି ସମ୍ବନ୍ଧ ନଥିବା ଧରି; ପ୍ରକୃତରେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ $\Delta v = 0$ ହୋଇଥିବା ସଂକ୍ରମଣମାନଙ୍କରୁ ଜାତ ଗୋଟିଏ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ମାତ୍ର । ଯଦି ଆମେ ସମୀକରଣ (୧୯'୭ଖ)ରେ $v_r' , v_r'' = 0$ ବସାଇବା, ଆମେ $v = 2Bj$ ପାଇବା; ଏହା (୧୯'୪କ) ସହିତ ମିଳିଯାଉଅଛି । ତେଣୁ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଓ ଦୋଳନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଅଂଶମାନଙ୍କରେ ରେଖାମାନଙ୍କର ଅନ୍ତର ଏକା ହେବ; ଉଭୟକ୍ଷେତ୍ରରେ ଏହା 2B ସଙ୍ଗେ ସମାନ ହେବ ।









[ଚିତ୍ର ୧୯'୯ ଦୋଳନ ବ୍ୟବଧାନ ତୁଳନାରେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକର ବ୍ୟବଧାନ ବହୁଗୁଣରେ ବଢ଼ାଇ ଦିଆଯାଇ ଗୋଟିଏ ଦ୍ୱି ପରମାଣବିକ ଅଣୁର ଶକ୍ତିସ୍ତରସବୁ । ପ୍ରଥମ ଦୋଳନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ବ୍ୟାଣ୍ଡପାଇଁ କେତେକ ତୁଳନାତ୍ମକ ସଂକ୍ରମଣ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି]

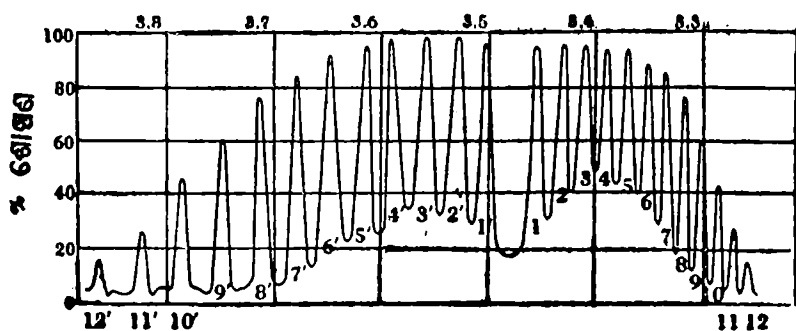
(୧୯.୭ ଚ, ଖ) ଅନୁସାରେ, ଗୋଟିଏ ଦୋଳନ-ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ ଅଭ୍ୟନ୍ତରତମ ଦୁଇ ରେଖା ମଧ୍ୟରେ (j = 1) ଅନ୍ତର $4B$ ହେବ । ଠିକ୍ ଏଠାରେ ବର୍ଣ୍ଣିତ ହୋଇଥିବା Hcl ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ ଏହି ଅନ୍ତର ହେଲା $41{\cdot}60cm^{-1}$ । ଏହାର ଅର୍ଦ୍ଧେକ ବା $20{\cdot}8\Delta\bar{\nu}$ ସଙ୍ଗେ ଭଲଭାବେ ମିଳି ଯାଉଥାଏ । ଏହା ଟେବୁଲ ୧୯.୧ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି ।

(ଘ) ଉଚ୍ଚତର କୋଟୀର ବ୍ୟାଣ୍ଡ ଓ ବିଚ୍ଛେଦନ ତାପ :

ପରୀକ୍ଷା କରାଯାଇଥିବା ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ତାତ୍ତ୍ୱିକ ବିଷୟ ହେଲା ଯେ, $\Delta\nu$>j ପାଇଁ ସଂକ୍ରମଣଗୁଡ଼ିକ ସମ୍ଭବ ହେଲେ ମଧ୍ୟ ଏଗୁଡ଼ିକ ମଳିନ ହେବେ । ଯେହେତୁ ଦ୍ୱିପାରମାଣବିକ ଦୋଳକର ହେବା ଯୋଗୁ, ଦୋଳନ ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ଯଦି ସମାନ ଅନ୍ତରରେ ରହନ୍ତି, $\Delta\nu \geqslant 1$ ପାଇଁ ଦୋଳନ ସ୍ପନ୍ଦ ଗୁଡ଼ିକ 1, 2, 3⋯ର ଅନୁପାତୀ ହେବେ, ପ୍ରକୃତ ଦୋଳନକ୍ଷମ ସଂସ୍ଥାରେ ଠିକ ଯେପରି ଏଗୁଡ଼ିକ ହାର୍ମୋନିକ୍ ଭଳି ତାହା ପାଇଁ ହୋଇଥାଏ । ଯଦି 3·46μରେ cl ବ୍ୟାଣ୍ଡଟି ନିମ୍ନତମ ଦୁଇଟି ଦୋଳନ ସ୍ତର ($\nu''=0$, $\nu'=1$) ମଧ୍ୟରେ ସଂକ୍ରମଣରୁ ଘଟିଥାଏ, ଅମେ 1·73, 1·15, 0·865μ ପ୍ରଭୃତିଠାରେ ବ୍ୟାଣ୍ଡଗୁଡ଼ିକ ତୀବ୍ରତାରେ କ୍ରମେ କ୍ରମେ କମି କମିଯିବା ଆମେ ଆଶା କରିବା । ପ୍ରକୃତରେ, ଗୋଟିଏ ବଡ଼ ମୋଟା Hcl ଗ୍ୟାସ ସ୍ତର ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଶୋଷଣକୁ ଲକ୍ଷ୍ୟ କଲେ, 1·76, 1·20 ଓ 0·916μଠାରେ ବ୍ୟାଣ୍ଡସବୁ ଦେଖାଯାଏ, ଶେଷୋକ୍ତ ବ୍ୟାଣ୍ଡଟି 3·46 ବ୍ୟାଣ୍ଡ ଠାରୁ 10000 ଗୁଣ ଦୁର୍ବଳ ହୋଇଥାଏ ।

ଏହାକୁ ଅଣୁର ବିଚ୍ଛେଦନ ତାପ ସହିତ ଯୋଗ କରି ସଠିକତା ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଆଉ ଏକ ପରୀକ୍ଷା ମଧ୍ୟ କରାଯାଇପାରେ । ବିଚ୍ଛେଦନ ତାପ ପରିମାଣର ଶକ୍ତି ଅଣୁ ସହିତ ଏହାର ନିମ୍ନତମ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାରେ ଯୋଗ କଲେ ଏଠାରେ ଥିବା ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ଅଲଗା ଅଲଗା ହୋଇଯାଆନ୍ତି । ପରସ୍ପରଠାରୁ ଅନନ୍ତ ଦୂରକୁ ଯାଇ ସ୍ଥିର ରହନ୍ତି । ଏହା ସ୍ପଷ୍ଟ ଯେ, ଅଣୁର କୌଣସି ବନ୍ଧ ଅବସ୍ଥାରେ ଶକ୍ତି, ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ଅଲଗା ଅଲଗା ହୋଇ ଥିବାବେଳର ଶକ୍ତି ଅପେକ୍ଷା କମ୍, ତା ନହେଲେ ଅଣୁଟି ଆପେ ଆପେ ଭାଙ୍ଗିଯିବ । ତେଣୁ ଯେକୌଣସି ଆଣବିକ ରେଖାପାଇଁ $h\nu$ ରାଶିଟି ଦୁଇଟି ଆଣବିକ ଅବସ୍ଥା ମଧ୍ୟରେ ତାରତମ୍ୟ ବୁଝାଏ ଓ

ବିଚ୍ଛେଦନ ତାପଠାରୁ ଏହା ଅଣ୍ଟିଷ୍ଟ କମ୍ ହେବ । $\lambda = 0{\cdot}916\mu$ଠାରେ Hcl ବ୍ୟାଣ୍ଡ ପାଇଁ $h\nu = 1{\cdot}4eV$ । 1gm. ଅଣୁ Hclର H_2 ଓ cl_2ରେ ବିଚ୍ଛେଦନ ପାଇଁ ବିଚ୍ଛେଦନ ତାପ ହେଉଛି 92 kj; କିନ୍ତୁ 1g ପରମାଣୁ H ବା clକୁ H_2 ବା cl_2ରେ ଗଠିତ ହେବାପାଇଁ ଯଥାକ୍ରମେ 211 ଓ 120·3kj ତାପ ଦରକାର ହୋଇଥାଏ । ତେଣୁ Hclକୁ H ଓ clରେ ବିଚ୍ଛେଦନ କରିବାପାଇଁ $92+211+120{\cdot}3kj/g$ ଅଣୁ ବା $4{\cdot}4eV$/ଅଣୁ ଦରକାର ହୁଏ । ଏହା Hclର ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ଉଚ୍ଚତମ ଶକ୍ତିର ଦୋଳନ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ପାଇଁ ଏଠାରେ ହିସାବ କରାଯାଇଥିବା $h\nu$ ମୂଲ୍ୟର 3ଗୁଣରୁ ଅଧିକ ।



[ଚିତ୍ର ୧୯·୧୦ ଉଚ୍ଚ ବିଭେଦନ ଯନ୍ତ୍ରରେ Hcl ପ୍ରଧାନ ଶୋଷଣ ବ୍ୟାଣ୍ଡ (···) । ରେଖାମାନଙ୍କ ଉପରେ ଥିବା ସଂଖ୍ୟାଗୁଡ଼ିକ ସଂକ୍ରମଣ ପାଇଁ ଉଚ୍ଚତର j ଦେଇଥାଏ, ସେଗୁଡ଼ିକପାଇଁ Δj ଓ $\Delta\lambda$ର ଚିହ୍ନ ବିପରୀତ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ଉପରେ ଦାଗ ଦିଆଯାଇଅଛି]

(ଘ) ତାପଜ ଆଲୋଡ଼ନରେ ଲାଲ ପୂର୍ବ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ଉପରେ ପ୍ରଭାବ :

Hcl କ୍ଷେତ୍ରରେ $\nu'' > 0$ ବିଶିଷ୍ଟ କୌଣସି ଶୋଷଣ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ପରୀକ୍ଷାରୁ ମିଳି ନାହିଁ । KT ସହିତ ତୁଳନାରେ ଦୋଳନସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ବହୁ ଅନ୍ତରରେ ରହୁଥିବାରୁ ଏହା ଘଟିଥାଏ ବୋଲି ମନେ କରାଯାଏ । ତାପଜ ଆଲୋଡ଼ନ ଦ୍ୱାରା କ୍ୱଚିତ୍ ଅଣୁମାନେ ଉଚ୍ଚତର ଦୋଳନ ସ୍ତରକୁ ଉତ୍କ୍ଷେପିତ ହୋଇ $\nu'' > 0$ ସହ ଜଡ଼ିତ ଶୋଷଣ ବ୍ୟାଣ୍ଡର ପ୍ରାରମ୍ଭିକ ସ୍ତରରେ ରହୁଥାନ୍ତି । $\lambda = 3{\cdot}5\mu$ ପାଇଁ, $h\nu = 0{\cdot}35eV$ ବୋଲି ଆମେ ପାଉ । କିନ୍ତୁ

$T = 290°k$ ତାପରେ $kT = 0.025eV$ । ଯଦି E_0, $E_1 = \lambda = 3.5\mu$ ଉତ୍ତାପନର ଦୁଇ ଅବସ୍ଥାର ଶକ୍ତି ହୁଏ, ଏହି ଦୁଇସ୍ତରକୁ ଉପରନ୍ତିରେ ଥିବା ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟାର ନମ୍ବରେ ଥିବା ସଂଖ୍ୟା ସବୁ ଅନୁପାତ ସେମାନଙ୍କର ବୋଲ୍‌ଜମାନସୂଚକସୂତ୍ରର ଅନୁପାତ ସମୀକରଣ (୪୬୦)

$$\frac{n_1}{n_0} = e^{-(E_1 - E_0)/kT} = e^{-h\nu/kT}$$

$$= e^{-35/2.5} < 10^{-6}$$

କାରଣ ସଙ୍ଗସଂଯୋଗ ଓଜନ g_1 ଓ g_0 ଦୁହେଁ ସମାନ । ଏହା ଏତେ ସ୍ପଷ୍ଟ ଯେ, କକ୍ଷତା ତାପମାତ୍ରାରେ HClର ପ୍ରାୟ ସମସ୍ତ ଅଣୁ ନିମ୍ନତମ ଦୋଳନ ଅବସ୍ଥାରେ ଥାନ୍ତି । ତେଣୁ ସେଥିଁ ଶୋଷଣ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ଥାଇଁ $v'' = 0$ କେବଳ ସେହି ଗୋଟିଏ ଦେଖାଯିବ; ଦେଖାଯାଉଥିବା ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ଶୂନ୍ୟ-ଶୂନ୍ୟ ଦୋଳନଘୂର୍ଣ୍ଣନ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ($v = 0$ରୁ $v = 0$କୁ) ହେବ ।

ବିଭିନ୍ନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସ୍ତର ମଧ୍ୟରେ ଅଣୁମାନଙ୍କର ବଣ୍ଟନରେ କକ୍ଷତାରେ ତାପମାତ୍ରାରେ ମଧ୍ୟ ବହୁ ବିଭିନ୍ନତା ଦେଖାଯାଏ । ଟେବୁଲ 19.1ରୁ Bର ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ମୂଲ୍ୟ ହେଲା $20.6/\lambda^{-1}$, ଏହା $Bhc = 1.3 \times 10^{-3} eV$ ହୁଏ । ତେଣୁ $j = 0$ ଥିବା ଅବସ୍ଥା ତୁଳନାରେ ଅନ୍ୟ ଯେକୌଣସି ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଅବସ୍ଥାର ଶକ୍ତି ହେଲା,

$$E_j = j\,(j+1) \times 1.3 \times 10^{-3} eV$$

କକ୍ଷତାପମାତ୍ରାରେ kTର ମୂଲ୍ୟ ହେଲା $0.025\, eV$ । ପ୍ରତି j ଅବସ୍ଥାର ପରିସଂଖ୍ୟାନ ଓଜନ ହେଲା $2j + 1$, ଏହା $M_j = j \cdots -j$ରୁ ମିଳିଥାଏ । $j = 10$ରେ ଥିବା HCl ଅଣୁମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟାର କକ୍ଷ-ତାପମାତ୍ରାରେ $j = 0$ରେ ଥିବା ଅଣୁମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟାର ଅନୁପାତ ବାହାର କରିବାପାଇଁ ଅନେ ସମୀକରଣ (୪୬୦)ରୁ ପାଇବା

$$\frac{n_{10}}{n_0} = \frac{21}{1}\, e^{-143/25} = 21\, e^{-5.7} = 0.07$$

ତେଣୁ $j = 10$ ଥିବା ଯୁଗ୍ମ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ $j = 0$ ଥିବା ଅବସ୍ଥା ତୁଳନାରେ 0.07ଗୁଣ ଥର ମିଳିଥାଏ । ଏହା ପରୀକ୍ଷାରେ ମିଳୁଥିବା ସତ୍ୟତା ସହିତ ମେଳ ଖାଉଥାଏ ।

I_2 ପରି ଅନ୍ୟ ବସ୍ତୁମାନଙ୍କରେ ଅଣୁମାନଙ୍କରୁ ଏକ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ଭଗ୍ନାଂଶ ବୋଠଗାର ତାପମାତ୍ରାରେ ଉପରର କୋଲନ ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କରେ ଥାଏ; ଶୋଷଣ ବା ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ଅନ୍ୟ ବ୍ୟାଣ୍ଡଗୁଡ଼ିକ ମିଳିପାରେ ।

(ଡ) ଅନ୍ୟପ୍ରକାରର ଅଣୁମାନଙ୍କର ଲାଇ ପୂର୍ବ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ;

କୋଲନ-ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମଗୁଡ଼ିକ ଅନେକ ଅଣୁ ପାଇଁ ଜଣାଅଛି । ଉକ୍ତ ବର୍ଣ୍ଣନାରେ ଦିଆଯାଇଥିବା ଗଠନ ଅପେକ୍ଷା ସେମାନଙ୍କର ଗଠନ ସାଧାରଣତଃ ଅଧିକ ଜଟିଳ; ଅନେକକ୍ଷେତ୍ରରେ $\Delta j = 0$ ପାଇଁ ସଂକ୍ରମଣ ଅନୁମିତ, ତେଣୁ ଗୋଟିଏ କ୍ରମରେ ଏକ ଅଧିକା ରେଖାଗୁଚ୍ଛ ମିଳିଥାଏ ଏବଂ ବ୍ୟାଣ୍ଡର କେନ୍ଦ୍ରରେ କୌଣସି ଖୋଲା ଜାଗା ନଥାଏ । ଯଥା CO_2ର ଶୋଷଣ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ $1{\cdot}46$ରୁ $15{\cdot}50\mu$ ପରିସର ମଧ୍ୟରେ ଅନେକ କୋଲନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ମିଳିଥାଏ । ଜଳୀୟ ବାଷ୍ପର $0{\cdot}69$ରୁ $6{\cdot}26\mu$ ମଧ୍ୟରେ ଅନେକ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ମିଳିଥାଏ । ଏହି ବ୍ୟାଣ୍ଡଗୁଡ଼ିକ ଜଳୀୟବାଷ୍ପର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ରେଖା ଗୁଡ଼ିକ ସାଙ୍ଗରେ ମିଶି ପୃଥିବୀର ବାୟୁମଣ୍ଡଳରେ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ଲୋହିତ ଶୋଷଣ ଘଟାଇବାକୁ ସମର୍ଥ ହୋଇଥାଏ ।

କୋଲନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଓ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ତୀବ୍ରତାରେ ଦର୍ଶାଇବା ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ଅଣୁର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ରହିବା ଦରକାର । ସମାଙ୍ଗୀ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ଦ୍ୱିପାରମାଣବିକ ଅଣୁ (ଯଥା – O_2, N_2 H_2 cl_2)ମାନଙ୍କର ଏ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ନଥାଏ । ତେଣୁ ଏମାନଙ୍କର ଏ ଦୁଇପ୍ରକାରର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ନଥାଏ । ଏହି ଅଣୁମାନଙ୍କୁ ନେଇ ଗଠିତ ଲୋହିତ ପାଇଁ ସ୍ୱଚ୍ଛ ।

19·9 ଆଣବିକ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥା :

ଏପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଅଣୁରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକୁ ବିସ୍ତାରରେ ଜଣାଯାଇନାହିଁ । ପ୍ରକୃତରେ, ଗୋଟିଏ ଅଣୁ ପାଇଁ ତରଙ୍ଗ ଫଳନରେ ସମସ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଓ ସମସ୍ତ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ସ୍ଥାନାଙ୍କଗୁଡ଼ିକ ଓ ଘୂର୍ଣ୍ଣନଗୁଡ଼ିକ ରହିବ । ଯେତେବେଳେ ପରମାଣୁ ସବୁ ଏକତ୍ରିତ ହୋଇ ଅଣୁଟିଏ ଗଠିତ ହେବ, ପ୍ରତି ପରମାଣୁର ଉପର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ସହିତ

ମିଳି ରହିଥାଏ ମନେ କରାଯାଇପାରେ, ତାହାର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ନିଉକ୍ଲିୟସକୁ ଲାଗି ନ ରହି ସମସ୍ତ ଅଣୁର ଅଂଶ ବିଶେଷ ବୋଲି ମନେ କରାଯାଇପାରେ ।

(କ) ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ଓ ନିଉକ୍ଲିୟସର ଗତିଗୁଡ଼ିକର ସ୍ଥୂଳ ପୃଥକୀକରଣ :

ବହୁ ଘଟଣାରେ ପ୍ରଧାନତଃ ଦ୍ୱିପାରମାଣବିକ ଅଣୁମାନଙ୍କରେ ତରଙ୍ଗଫଳନଗୁଡ଼ିକ ମୋଟାମୋଟି ଦୁଇଟି ଗୁଣନରେ ପୃଥକ କରାଯାଇପାରେ, ଯଥା ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ-ଗୁଡ଼ିକ ସଂଶ୍ଳିଷ୍ଟ, ଦ୍ୱିତୀୟ ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର ଦୋଳନ ଓ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଅଣୁଟିର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ । ସେତେବେଳେ ପ୍ରଥମ ଗୁଣକଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ କୌଣସି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାରେ ଥିବା ବୁଝାଇଥାଏ । ଶକ୍ତି ଓ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ଅବସ୍ଥାର ତରଙ୍ଗଫଳନ ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର ତୁଳନାତ୍ମକ ଅବସ୍ଥାନ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିଥାଏ, ଏହି ବିଷୟରେ ପରମାଣୁଠାରୁ ଅଣୁରେ ଅବସ୍ଥାନ ଭିନ୍ନ ହୋଇଥାଏ । ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର ପରସ୍ପର ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଶକ୍ତି ସାଧାରଣତଃ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ଅବସ୍ଥାର ଶକ୍ତିର ଅନ୍ତର୍ଗତ ହୋଇଥାଏ । ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର ପରସ୍ପର ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ ଶକ୍ତି ସାଧାରଣତଃ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ଅବସ୍ଥାର ଶକ୍ତିରେ ଅନ୍ତର୍ଗତ ହୋଇଥାଏ । ଏପରି ଭାବରେ ପ୍ରକାଶିତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ଶକ୍ତି ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର କେତେକ ତୁଳନାତ୍ମକ ଅବସ୍ଥାନ ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ନ୍ୟୂନତମ ମୂଲ୍ୟ ଗ୍ରହଣ କରିଥାଏ; ଯଦି ସେମାନେ ଏହାଠାରୁ ଅଧିକ ନିକଟକୁ ବା ଦୂରକୁ ଘୁଞ୍ଚିଯାନ୍ତି, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ଶକ୍ତି ବଢ଼ିଯାଇଥାଏ ଏବଂ ଏଥିଲାଗି ଅଣୁର ଶକ୍ତି ବଢ଼ିଯାଇଥାଏ । ତେଣୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ଅବସ୍ଥାର ଶକ୍ତି ଏକ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ପରି କାର୍ଯ୍ୟ କରେ, ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକୁ ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ତୁଳନାତ୍ମକ ଅବସ୍ଥାରେ ଧରି ରଖିବା ଲାଗି ଏହାର ପ୍ରବୃତ୍ତି ଥାଏ । ଏହିପରି ଚିତ୍ର ୧୯.୮ରେ ଦେଖାଯାଇଥିବା ସ୍ଥିତିଜଶକ୍ତି ଦ୍ୱିପାରମାଣବିକ ଅଣୁରେ ଦେଖାଯାଇଥାଏ ।

ଏହି ଏକ ଆସନ୍ନ ନେଇ, ଅଣୁର ଶକ୍ତି Eକୁ ଦୁଇଟି ପଦର ଯୋଗଫଳରୂପେ ଲେଖାଯାଇପାରେ; ଗୋଟିଏ ସମ୍ପୃକ୍ତ ପଦ E_e । ଏଥିରେ ମୋଟାମୋଟି ଭାବରେ ହାରାହାରି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ଶକ୍ତି ରହିଥାଏ, ଏଥିମଧ୍ୟରେ ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର ପରସ୍ପର ବିକର୍ଷଣଜନିତ ଶକ୍ତି ମଧ୍ୟ ରହେ । ଗୋଟିଏ ଏହାଠାରୁ ଅତି ଛୋଟ ଯୁକ୍ତ ଅଂଶ E_n— ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ

ପରମାଣୁର ତୁଳନାରେ ଦୋଳନ କରିବା ଶକ୍ତି ଓ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଅଣୁଟିର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଏହାର ଅନ୍ତର୍ଗତ । ତେଣୁ $E = E_e + E_{rv}$ । ଗୋଟିଏ ଦ୍ୱିପାରମାଣବିକ ଅଣୁ ପାଇଁ ଶକ୍ତି E_{rv} ହେଲେ ଅନୁ: ୧୯.୮ରେ ଯାହାକୁ E ବୋଲି ବୁଝାଯାଇଛି ।

ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋନୀୟ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକର ଭିନ୍ନଭିନ୍ନ ଆଲୋଚନା ପାଇଁ ଗ୍ରନ୍ଥକୁ ଆମେ ଅତ୍ୟଧିକ ଅଧ୍ୟୟନ କରିବାକୁ ଚାହୁଁ । କିନ୍ତୁ ଗ୍ରନ୍ଥ ଯେଉଁ ସଙ୍କେତଗୁଡ଼ିକ ଦେଖିବେ ସେଗୁଡ଼ିକୁ ବୁଝାଇବାପାଇଁ ଏଠାରେ କିଛି କହିବାକୁ ହେବ । କେବଳ ଦ୍ୱିପାରମାଣବିକ ଅଣୁ କଥା ବିଚାର କରାଯିବ ।

(ଖ) ΔS ସଂଯୋଜନା : ପାରମାଣବିକ ଅବସ୍ଥାର ତତ୍ତ୍ୱରେ ବୁଝାଗଲା ପରି ଅବସ୍ଥା ଭେଦରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋନୀୟ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ବିଭିନ୍ନ ପ୍ରକାରରେ ଆଲୋଚିତ ହୋଇ ପାରିବ । ଯଦି ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋନୀୟ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କକ୍ଷ ପ୍ରଭାବ କମ୍ ହୁଏ, LS ସଂଯୋଜନା ସଦୃଶ ଏକ ସଂଯୋଜନା ଘଟିଥାଏ । ପ୍ରଥମ ଆସନ୍ନ ସ୍ତରରେ, ନିଉକ୍ଲିୟର ରେଖା ସ୍ୱପକ୍ଷେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର କକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗର ସଂଯୋଜକକୁ ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ମୂଲ୍ୟ ଦେବା ସମ୍ଭବ ହୋଇଥାଏ । ନିଉକ୍ଲିୟର ରେଖା ହେଲା ଦୁଇ ନିଉକ୍ଲିୟସ୍‌କୁ ଯୋଗ କରୁଥିବା ରେଖା । ଏହା ଗୋଟିଏ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ଅକ୍ଷ । ଏହି ସଂବେଗର ପରିମାଣ Λ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ, ଏଠାରେ Λ ଗୋଟିଏ ଯୁକ୍ତ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ବା ଶୂନ୍ୟ, ଆବେକ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା ପାରମାଣବିକ ତତ୍ତ୍ୱର M_Lର ଅନୁରୂପ । ଗୋଟିଏ ଦ୍ୱିପାରମାଣବିକ ଅଣୁରେ ନିଉକ୍ଲିୟର ରେଖାଦ୍ୱାରା ସୂଚିତ ଅକ୍ଷର ଏକ ବୈଶେଷ୍ଟ୍ୟ ରହିଥାଏ । ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ମୋଟ କକ୍ଷୀୟ ସଂବେଗର ଗୋଟିଏ ଅଣୁରେ ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ମୂଲ୍ୟ ରହି ନପାରେ । ତେଣୁ ଗୋଟିଏ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା L ରହି ନପାରେ । ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରୋସ୍କୋପୀ ଅନୁସାରେ Λ ଟି L ଅନୁରୂପ କାର୍ଯ୍ୟ କରିଥାଏ, କାରଣ Λର ଭିନ୍ନ ମୂଲ୍ୟଦ୍ୱାରା ସୂଚିତ ଅବସ୍ଥା ସବୁର ଭିନ୍ନ ଶକ୍ତି ଥାଏ । ପାରମାଣବିକ LS ସଂଯୋଜନାର ସଙ୍କେତକୁ ଅନୁସରଣ କରି $\Lambda = 0, 1, 2, 3\cdots$ ସୂଚିତ ଅବସ୍ଥାସବୁ ଯଥାକ୍ରମେ $\Sigma, \pi, \Delta, \phi$ ଅକ୍ଷରଗୁଡ଼ିକ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ ।

ସେତେବେଳେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଘୂର୍ଣ୍ଣନଜନିତ ମୋଟିଏ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା S କେଉ କେଉ ସଂଯୋଜନ କରଯାଏ। $2S+1$ର ମୂଲ୍ୟକୁ ଉପରଲେଖ ଭାବରେ ରଖାଯାଏ। ତେଣୁ ଆମେ ΔS ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ଅବସ୍ଥା ଏହି ସଙ୍କେତ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରିଥାଉ, ଯଥା : $^1\Sigma, {}^3\Sigma, {}^1\pi, {}^3\pi \cdots$ $^2\Sigma, {}^4\Sigma, {}^2\pi, {}^4\pi$

ପରମାଣୁମାନଙ୍କରେ ଦେଖାଯାଇ, କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟାମାନଙ୍କର ଏକ ପ୍ରାଧାନ୍ୟ ହେଉ ସଂପୃକ୍ତ ବର୍ଣ୍ଣ ନିୟମରେ। ଯେଉଁ ସଂକ୍ରମଣ ଲାଗି

$\Delta \Lambda = 0$ ବା ± 1 $\quad \Delta S = 0$

ଏହାପରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କକ୍ଷୀୟ ପ୍ରଭାବଗୁଡ଼ିକ ବିଷୟ ଆଲୋଚନା ନକରି ଆମେ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ଗତିଗୁଡ଼ିକର ଅବେକ୍ଷା କରିବା, ଏହାର ଶକ୍ତି ଉପରେ ପ୍ରଭାବ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କକ୍ଷୀୟ ପ୍ରଭାବ ତୁଳନାରେ ବହୁତ ବେଶୀ ବୋଲି ଆମେ ଅନୁମାନ କରିଥାଉ। ଅଣୁର ପ୍ରତି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ଅବସ୍ଥା ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର କୌଣସି ଏକ ଦୋଳନ ଅବସ୍ଥା ସହିତ ଯୋଗ କରିହେବ। ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର କକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗ ସେତେବେଳେ କେନ୍ଦ୍ରର ଭାବରେ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ରେଖାକୁ ଅବଲମ୍ବ ଭାବରେ ଥିବା ରେଖାମାନଙ୍କ ବିଷୟରେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କୌଣିକ ସଂବେଗ ସହିତ ଯୋଗ କରିଯିବ। ଏଥିରୁ ମୋଟିଏ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା K ମିଳିବ। ଏହାର

$K \geq \Lambda$

ଯେ କୌଣସି ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟକ ମୂଲ୍ୟ ଥାଇପାରେ। K ଟି Λଠାରୁ କମ ହେବା ସମ୍ଭବ ନୁହେଁ କାରଣ ମୋଟିଏ ଦ୍ୱିପାରମାଣବିକ ଅଣୁରେ ଦୁଇ କୌଣିକ ସଂବେଗ ଅକ୍ଷ ପରସ୍ପରକୁ ଅବଲମ୍ବ ଭାବରେ ରହିଥାଏ। K ପାଇଁ ସାଧାରଣ ବର୍ଣ୍ଣ ନିୟମ ହେଉ,

$\Delta K = 0$ ବା ± 1

ଆମେ ଏହାପରେ ଅଣୁ ପାଇଁ ମୋଟିଏ ସେଟ୍ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ଦୋଳନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଅବସ୍ଥା ପାଇଲୁ, ଏଗୁଡ଼ିକ କ୍ୱାଣ୍ଟମସଂଖ୍ୟା Λ, s, v, k ଦ୍ୱାରା ସୂଚିତ ହେଉ।

ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କକ୍ଷୀୟ ପ୍ରଭାବ ଏହାପରେ ବିଚାର କରିବା ଦରକାର। ଆମେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ମୋଟ କୌଣିକ ସଂବେଗକୁ (K ଦ୍ୱାରା ସୂଚିତ), ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ (S ଦ୍ୱାରା ସୂଚିତ)ର ମୋଟ କୌଣିକ ସଂବେଗ ସହିତ ଯୋଗ କରିବା। ଏହାପର

ଆମେ ଏକ ବିଶାଳ ପରିଣାମୀ କୌଣିକ ସଂବେଗ ପାଇବା । ଏଥିପାଇଁ ଆମେ ସାଧାରଣ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା j ଓ M_j ବ୍ୟବହାର କରିବା । jର ସାମ୍ଭାବ୍ୟ ମୂଲ୍ୟଗୁଡ଼ିକ ହେଲି $K+S$ଠାରୁ ଆରମ୍ଭ କରି $|k-s|$ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ସ୍ତରରେ ରହିଥାଏ । ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋନୀୟ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କକ୍ଷ ମାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାର ଫଳ ହେଲି ପାରମାଣବିକ LS ସଂଯୋଜନା ପରି, jର ବିଭିନ୍ନ ମୂଲ୍ୟ ଥିବା ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ଅବସ୍ଥାକୁ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର କରିବା । ତେଣୁ LS ବହୁଧାର ଗଠନ ପରି ଗୋଟିଏ ସୂକ୍ଷ୍ମଗଠନ ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋନୀୟ ଦୋଳନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସ୍ତରମାନଙ୍କରେ ପ୍ରବେଶ କରି । ଏପରି ଏକ ସଂକେତରେ ପରିଲେଖ, ଯଥା : $^{3}\Pi$ ଏହି ସୂକ୍ଷ୍ମଗଠନରେ ଥିବା jସ୍ତର ଗୁଡ଼ିକର ସଂଖ୍ୟା (ସାଧାରଣ) ସୂଚାଇଥାଏ ।

ଏକଧାର ସ୍ତରମାନଙ୍କରେ ($S=0$ ଓ $j=k$ ହେଲେ) କୌଣସି ସୂକ୍ଷ୍ମ ଗଠନ ଥାଏ । ପରମାଣୁମାନଙ୍କରେ ଏହାହିଁ ହୋଇଥାଏ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ Hcl ଅଣୁ ସାଧାରଣ ସ୍ତରରେ $^{1}\Sigma$ ଅବସ୍ଥାରେ ଥାଏ; ତେଣୁ ଏହି ଅଣୁର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଓ ଦୋଳନ ଅବସ୍ଥାନ୍ତରକୁ ବର୍ଣ୍ଣନା ପାଇଁ ଉପରେ ଦିଆଯାଇଥିବା ଆଲୋଚନା ଯଥେଷ୍ଟ ହୁଏ ।

(ଗ) Ω ସଂଯୋଜନା : ଯେତେବେଳେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋନୀୟ ଘୂର୍ଣ୍ଣନକକ୍ଷୀୟ ପ୍ରଭାବ ଗୁଡ଼ିକ ଅଣୁର ଘୂର୍ଣ୍ଣନର ପ୍ରଭାବଠାରୁ କମ ନହୁଏ, ଆଲୋଚନା ଭଲଦ୍ୱାରା ଅନ୍ୟପ୍ରକାରର ଆଲୋଚନା ଆବଶ୍ୟକ ହୋଇଥାଏ । ଯଦି ପ୍ରକୃତରେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନକକ୍ଷୀୟ ପ୍ରଭାବ ଅଧିକ ହୋଇଥାଏ ଆମେ ପରମାଣୁରେ jj ସଂଯୋଜନର ଅନୁରୂପ ପାଇଥାଉ । ଏତେବେଳେ ଉଭୟ ଅକ୍ଷ ରେଖା ସ୍ୱପକ୍ଷେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋନୀୟ ଓ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସଂବେଗକୁ ଆଗେ ଯୋଗ କରି ଦିଆଯାଏ, ସେମାନଙ୍କର ପରିମାଣକୁ ଗୋଟିଏ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା · Ω ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରାଯାଏ । Ωର ମୂଲ୍ୟ ଅଣୁରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସଂଖ୍ୟା ଯୁଗ୍ମ ବା ଅଯୁଗ୍ମ ହେଲେ ଯଥାକ୍ରମେ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ବା ଅର୍ଦ୍ଧ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ହୁଏ । ପ୍ରତ୍ୟେକଇଲେକ୍ଟ୍ରୋନୀୟ ଅବସ୍ଥା Ωର ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ମୂଲ୍ୟଦ୍ୱାରା ସୂଚିତହୁଏ ଓ ତାପରେ ଏହା v ଓ j ଦ୍ୱାରା ସୂଚିତ ଗୋଟିଏ ଦୋଳନ ଅବସ୍ଥା ଯୋଗ ହୁଏ । $S=0$ ବେଳେ ହେବା ପରି ଏପ୍ରକାର ସଂଯୋଜନାରେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ jର ମୂଲ୍ୟର ଅନୁରୂପ ହୋଇଥାଏ ।

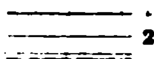
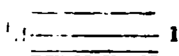
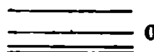
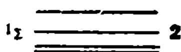
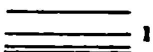
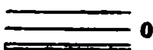
ଏହିପରି ଗୋଟିଏ ଅଣୁର ଅବସ୍ଥାର ଶକ୍ତି ΔS ସଂଯୋଜନାରେ ପାଞ୍ଚଟି କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିଥାଏ । $\wedge, S, v, K, j$ ବା Ω ସଂଯୋଜନାରେ

ଉପରୋକ୍ତ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିଥାଏ, Ω, v, j । ବିଭିନ୍ନ ସଂଖ୍ୟା ସଙ୍ଗେ ଏହାର ପରିବର୍ତ୍ତନ କେତେକ ଭିନ୍ନ କ୍ରମର ପରିମାଣ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିଥାଏ । k ବା j ସଙ୍ଗେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ତୁଳନାତ୍ମକ ଭାବରେ କମ୍ ହୋଇଥାଏ । ଯେଉଁ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ସେମାନଙ୍କର ପ୍ରାଥମିକ ବା ଶେଷ ଅବସ୍ଥାରେ କେବଳ Kର ମୂଲ୍ୟମାନଙ୍କରେ ଭିନ୍ନ ହୋଇଥାଏ, ସେଗୁଡ଼ିକ ପାଖାପାଖି ହୋଇ ରହେ ଓ ଗୋଟିଏ ବ୍ୟାଣ୍ଡ କରିଥାଏ । ଏହା ବର୍ଣ୍ଣିତ ଦୋଳନ-ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ବ୍ୟାଣ୍ଡର ଅନୁରୂପ । ଏଘଟଣାଗୁଡ଼ିକରେ ଯଦି $j \neq k$ ହୁଏ, j ସହିତ ଶକ୍ତି ଅତ୍ୟନ୍ତ କମ୍ ପରିମାଣରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇଥାଏ । ଏ ପରିବର୍ତ୍ତନର ଫଳ କେବଳ କେବଳ ବ୍ୟାଣ୍ଡର ରେଖାମାନଙ୍କରେ ସୂକ୍ଷ୍ମଗଠନ ଆଣିଦେବା । ଅନ୍ୟପକ୍ଷରେ Ω ସଂଯୋଜନାରେ ଗୋଟିଏ ବ୍ୟାଣ୍ଡର ରେଖାଗୁଡ଼ିକ jର ମୂଲ୍ୟରେ ତାରତମ୍ୟରୁ ଜାତ ହୋଇଥାଏ । ଶକ୍ତି v ଅନୁସାରେ k ବା j ପରିବର୍ତ୍ତନରେ ହେଉଥିବା ପ୍ରଭେଦ ଅପେକ୍ଷା ବହୁତ ଅଧିକ ପରିମାଣରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇଥାଏ । vର ପ୍ରତି ଯୋଡ଼ ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ (ପ୍ରାଥମିକ ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ଓ ଶେଷ ପାଇଁ ଗୋଟିଏ) ଗୋଟିଏ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ମିଳିବାର ସମ୍ଭାବନା ଥାଏ । ଶେଷରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କର Λ ଓ Sର ବିଭିନ୍ନ ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ ବା Ωର ବିଭିନ୍ନ ମୂଲ୍ୟପାଇଁ ସୂଚିତ ହୁଏ, ଶକ୍ତି ମଧ୍ୟରେ ବ୍ୟବଧାନ ପାରମାଣବିକ LS ପଦଗୁଡ଼ିକ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ବ୍ୟବଧାନ କୋଟୀର ହୋଇଥାଏ । ଆଣବିକ ସ୍ତରମାନଙ୍କର ବ୍ୟବହାର ଓ ସାଧାରଣ ଧର୍ମଗୁଡ଼ିକ ଚିତ୍ର ୧୯·୧୧ରେ ଗୋଟିଏ ସରଳ ଘଟଣାପାଇଁ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି ।

19·10 ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ବ୍ୟାଣ୍ଡ :

ଆଣବିକ ସ୍ତରମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସର୍ବାପେକ୍ଷା ଅଧିକ ଘଟୁଥିବା ସଂକ୍ରମଣ ହେଲା ଯେଉଁ ପ୍ରକାରରେ ଅଣୁର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ଅବସ୍ଥାରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହେବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଏହାର ନାଭିକୀୟ ଦୋଳନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଅବସ୍ଥାରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ଘଟିଥାଏ । ଏପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଆଲୋଚିତ ହୋଇଥିବା ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ଦୋଳନ ଓ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ପ୍ରକାରର) ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ଅବସ୍ଥାରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ନହେଉଥିବା ବିଶେଷ ଘଟଣା ରହିଅଛି । କିନ୍ତୁ ଏହିପରି ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ଜଣାଶୁଣା ବ୍ୟାଣ୍ଡ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର ଅତି ଅଳ୍ପ ଭଗ୍ନାଂଶ ମାତ୍ର । ଗୋଟିଏ ସଂକ୍ରମଣରେ ଯେତେବେଳେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ସ୍ତରର ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୋଇଥାଏ, ଶକ୍ତିରେ ଘଟୁଥିବା

ପର୍ଯ୍ୟାୟୀ ପରିବର୍ତ୍ତନ ସାଧାରଣତଃ ଏତେ ବେଶୀ ଯେ, ବ୍ୟାଣ୍ଡଟି ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମର ଦୃଶ୍ୟମାନ ବା ବାଇଗଣୀ ପର ଅଞ୍ଚଳରେ ରହିଥାଏ । ଏହିପରି ବ୍ୟାଣ୍ଡଗୁଡ଼ିକୁ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରୋନୀୟ ବ୍ୟାଣ୍ଡ କୁହାଯାଇପାରେ ।

[ଚିତ୍ର ୧୯.୧୧ ଅଣୁବିକ ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକର ସାଧାରଣ ସଜ୍ଜା (ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସ୍ତରମାନଙ୍କରେ ଅନ୍ତର ବହୁ ଗୁଣରେ ବଢ଼ାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି ଏବଂ $^1\Sigma$ ଓ $^1\pi$ ମଧ୍ୟରେ ବହୁ ପରିମାଣରେ କମାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି]

ଯେଉଁ ସଂକ୍ରମଣଗୁଡ଼ିକ ରୋଟିଏ ଦଇ ଯୋଡ଼ ଭଳ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରୋନୀୟ ଅବସ୍ଥାଦ୍ୱାରା ଏବଂ ଦୁଇ v' ଓ v'' ମୂଲ୍ୟଦ୍ୱାରା ସୂଚିତ ଦଇ ଦୋଳନ ସ୍ତରଦ୍ୱାରା ପରିଚିତ ହୋଇଥାଏ, jର ଭିନ୍ନ ପରିବର୍ତ୍ତନ (ଓ ଯଦି $k \neq j$, kର) ଘଟିପାରେ । ପର୍ଯ୍ୟାୟୀ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ରୋଟିଏ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ଗଠନ କରେ । ରୋଟିଏ ଦଇ ଯୋଡ଼ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରୋନୀୟ ସ୍ତର ମଧ୍ୟରେ v' ଓ v''ର ସମସ୍ତ ସାମ୍ଭବ୍ୟ ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ ସଂକ୍ରମଣ ଫଳରେ ମିଳୁଥିବା ବ୍ୟାଣ୍ଡଗୁଡ଼ିକ ରୋଟିଏ

ବ୍ୟାଣ୍ଡମଣ୍ଡଳ ଗଢ଼ିଥାଏ ବୋଲି କୁହାଯାଏ । ଭିନ୍ନ ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋନୀୟ ସଂକ୍ରମଣ ସମ୍ଭବ ହେଉଥିବାରୁ ଯେକୌଣସି ଅଣୁର ବ୍ୟାଣ୍ଡ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ବ୍ୟାଣ୍ଡମଣ୍ଡଳର ସମାହାର ।

ଗୋଟିଏ ବଣ୍ଡ ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋନୀୟ ବ୍ୟାଣ୍ଡର ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ବର୍ଗ ନିୟମ

$\Delta K=0$ ବା ± 1 $\Delta j=0$ ବା ± 1 ଦ୍ୱାରା ସୀମିତ । jଠାରୁ ଭିନ୍ନ K କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା ଘୂର୍ଣ୍ଣନସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ଚିହ୍ନିତ ହେଉଥିବେଲେ, ମିଳୁଥିବା ସୂକ୍ଷ୍ମଗଠନ ଛଡ଼ା ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋନୀୟ ବ୍ୟାଣ୍ଡଗୁଡ଼ିକ ସାଧାରଣତଃ ବର୍ଣ୍ଣିତ ସରଳ ଦୋଳନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ଅପେକ୍ଷା ଅଧିକ ଜଟିଳ ହୋଇଥାଏ କାରଣ $\Delta K=0$ (ବା $\Delta j=0$) ସଂକ୍ରମଣଗୁଡ଼ିକ ଅନୁମିତ ହୋଇଥାଏ । ଯେଉଁ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ ΔKର $\Delta \nu$ ପ୍ରତି ବିପରୀତ ଚିହ୍ନ ହୋଇଥାଏ, ସେଗୁଡ଼ିକ ବ୍ୟାଣ୍ଡର *P* ଶାଖା ଗଠନ କରିଥାଏ; $\Delta K=0$ (ବା $\Delta j=0$) ପାଇଁ ଯେଉଁଗୁଡ଼ିକ ହୋଇଥାଏ, ସେଗୁଡ଼ିକ *Q*ଶାଖା ଗଠନ କରିଥାଏ; ଯେଉଁଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ ΔK (ବା Δj)ଟି $\Delta \nu$ର ସମଚିହ୍ନର ରହିଥାଏ, ସେଗୁଡ଼ିକ R ଶାଖା ଗଠନ କରିଥାଏ । ବହୁସମୟରେ *Q* ଶାଖା ମିଳିନଥାଏ ଯଥା : $\Sigma \rightarrow \Sigma$ ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋନୀୟ ସଂକ୍ରମଣରୁ ମିଳୁଥିବା ସମସ୍ତ ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ । ଯେତେବେଳେ $K \neq j$ ହୁଏ, ସେତେବେଳେ ତାହାକୁ ଗୋଟିଏ ବୋଲି କୁହାଯାଏ, ସେଥିରେ ବେଳେବେଳେ ପ୍ରତି ପ୍ରକାରରୁ ଗୋଟିଏରୁ ଅଧିକ ଶାଖା ରହିଥାଏ ।

ଆଣବିକ ସ୍ତରମାନଙ୍କର ଶକ୍ତିର ଗୋଟିଏ ଭଲମ ଅସନ୍ନ ହିସ୍ତ ମିଳେ, ଯଦି ଦୋଳନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଅଂଶ ପାଇଁ ସମୀକରଣ (୧୯·୭୬)ରେ ଥିବା ଭିନ୍ନ ପଦ ଗୋଟିଏ ଭିନ୍ନ ବ୍ୟବହାର କରଯାଏ, କିନ୍ତୁ *B*କୁ *v* ସହିତ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହେବାକୁ ଦିଆଯାଏ । ସେତେବେଳେ ଆଣବିକ ଶକ୍ତିପାଇଁ cm^{-1}ରେ ଆମେ ପାଉ

$$\overline{E}=\overline{E}_{0}+\overline{E}_{v}+B_{v}K(k+1)\cdots \qquad (୧୯·୮)$$

ଏଠାରେ B_{v} ହେଉଛି ସ୍ଥିର । ତେଣୁ, ଦୁଇ ଭିନ୍ନ ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋନୀୟ ଅବସ୍ଥାର ସ୍ତରମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଆମେ ଲେଖିପାରିବା,

$$\bar{E}' = \bar{E}_e' + \bar{E}_{v'}' + B'_{v'} K(k+1)$$

$$\bar{E}'' = E_e'' + \bar{E}_{v''}'' + B''_{v''} K(k+1)$$

ଏବଂ ସେତେବେଳେ ବ୍ୟାଣ୍ଡର ତିନୋଟି ଶାଖାପାଇଁ ଆମେ ପାଇବା

P: v', K−1; v'', k

$$\bar{\nu} = \bar{\nu}_e + \bar{\nu}_{v', v''} - (B'_{v'} + B''_{v''})K + (B'_{v'} - B''_{v''})k^2$$

(୧୯·୯କ)

Q : v', k; v'', k,

$$\bar{\nu} = \bar{\nu}_e + \bar{\nu}_{v', v''} + (B'_{v'} - B''_{v''})K(K+1) \qquad (୧୯·୯ଖ)$$

R: v', k; v'', K−1.

$$\bar{\nu} = \bar{\nu}_e + \bar{\nu}_{v', v''} + (B'_{v'} + B'_{v''})K + (B'_{v'} - B''_{v''})K^2$$

(୧୯·୯ଗ)

ଏଠାରେ ପ୍ରତି କ୍ଷେତ୍ରରେ K ସଂକ୍ରମଣରେ ସ୍ଥିର ନେଇଥିବା kର ଦୁଇ ମୂଲ୍ୟରୁ ବଡ଼ଟିକୁ ବୁଝାଉଅଛି । ଯଦି ପ୍ରଶ୍ନରେ ଥିବା ସ୍ତରମାନଙ୍କ ପାଇଁ କ୍ୱାଣ୍ଟମସଂଖ୍ୟା k ନାହିଁ ସମୀକରଣ (୧୯·୮)ରୁ (୧୯·୯ଗ) ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ସବୁଥିରେ k ସ୍ଥାନରେ j ନେବାକୁ ହେବ । ତହୁଁ $\bar{\nu}_e = (\bar{E}_e' - \bar{E}_e'')/h$ କେବଳ ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋନୀୟ ସଂକ୍ରମଣରୁ ମିଳୁଥିବା ସ୍ପନ୍ଦନ ବୁଝାଉଅଛି, କିନ୍ତୁ $\bar{\nu}_{v', v''} = (\bar{E}_{v'}' - \bar{E}_{v''}'')/h$ ହେବ ଏବଂ ଅନୁମାନ କରାଯାଉଅଛି ଯେ $v' \geq v''$ ।

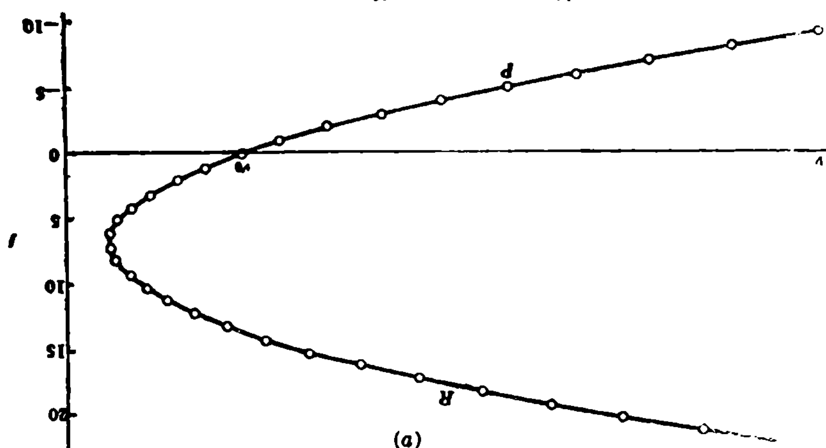
ଯେହେତୁ ସମୀକରଣ (୧୯·୯କ, ଖ, ଗ)ରେ $B'_{v'}$ ଓ $B''_{v''}$ ରାଶିଗୁଡ଼ିକ ଭିନ୍ନ ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋନୀୟ ଅବସ୍ଥା ପାଇଁ, ସେମାନେ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ଭାବରେ ଭିନ୍ନ ହୋଇ ପାରନ୍ତି । ଦୁଇକ୍ଷେତ୍ରରେ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ବଳ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଭିନ୍ନ ହୋଇଥାରେ ବୋଲି ଆମେ ଅନୁମାନ କରିପାରିବା; ତେଣୁ ସେମାନଙ୍କର ସାମ୍ୟାବସ୍ଥ ରେ ଅବସ୍ଥାନ ଓ ଅଣୁମାନଙ୍କର ଜଡ଼ତାର ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ମଧ୍ୟ ଭିନ୍ନ ହୋଇପାରେ । ଏହା ବୋଲନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ବ୍ୟାଣ୍ଡମାନଙ୍କରେ ଯାହା ଘଟେ ତା'ର ବିପରୀତ, ସେକ୍ଷେତ୍ରରେ ଗୋଟିଏ ସ୍ତରରୁ

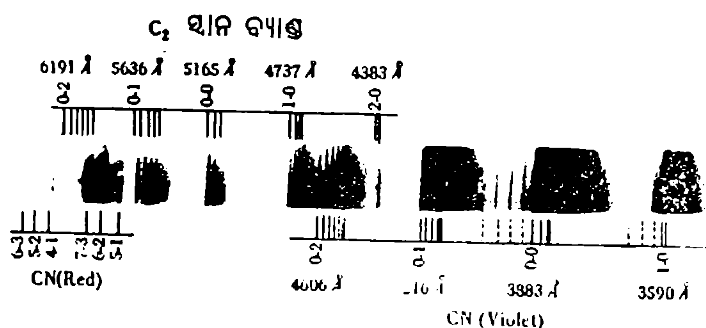
ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ସ୍ତରକୁ ଗଲେ B_v ମାନ ଅଳ୍ପ ପରିମାଣରେ ଭିନ୍ନ ହୋଇଥାଏ । (୧୯·୯)ରେ ଚତୁର୍ଥ ।ଶ ଧର ଅବଶିଷ୍ଟ ସେମାନଙ୍କର ପ୍ରଭାବ ଦେଖାଇଥାଆନ୍ତି । Kର ବୃଦ୍ଧି ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଗୋଟିଏ ଶାଖା ମଧ୍ୟରେ $\bar{\nu}$ ର ପ୍ରବାହ ଶୀଘ୍ର ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇଥାଏ, Pଶାଖାରେ ଯଦି $B'_v>B''_v$ ହୁଏ, R ଶାଖାରେ ଯଦି $B'_v>B''_v$ । ତେଣୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ବ୍ୟାଣ୍ଡର ସାଧାରଣ ଗୁଣ ହେଲା ଯେ, ଗୋଟିଏ ଶାଖା ବନ୍ଧଶୀର୍ଷରେ ଓ ଅନ୍ୟମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଭାଙ୍ଗି ହୋଇଯିବ । ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ଦେଖି ବନ୍ଧୁରେ ଶାଖାଗୁଡ଼ିକ ପଛକୁ ଫେରେ, ରେଖା ଗୁଡ଼ିକ ଅତି ଗହଳିଆ ହୋଇଯାଏ ଓ ଗୋଟିଏ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ମଥା ସୃଷ୍ଟି ହୁଏ । ବ୍ୟାଣ୍ଡଟି ମଥାଠାରୁ ଦୂରକୁ କ୍ରମେ ମଳିନ ହେବାର ଦେଖାଯାଏ; କେତେକ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ଲାଲଆଡ଼କୁ ମଳିନ ହୋଇଥାଏ । କେତେକ ବାଇଗଣିଆଡ଼କୁ ମଳିନ ହୋଇଥାଏ । ଯେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ Q ଶାଖା ରହିଥାଏ, ଏହା ଏକ ଦ୍ୱିତୀୟ ମଥା ସୃଷ୍ଟି କରିପାରେ ଯଦିଓ ଏପରି ଏକ ଗୁଣ ସମୀକରଣ (୧୯·୯ଗ) ଦ୍ୱାରା ଅପେ ଆପେ ପ୍ରକାଶିତ ହେଉନାହିଁ ।

ଅନେକ ସମୟରେ ଏପରି ଏକ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ଗ୍ରାଫ୍‌ରେ ଗୋଟିଏ ଫୋର୍ଟ୍ରାଟ୍ ଚିତ୍ରରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇଥାଏ । ଏଥିରେ ପ୍ରତି ରେଖା ଗୋଟିଏ ବିନ୍ଦୁ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୁଏ, ଯାହାଙ୍କ k (ବା j) ପ୍ରକାଶ କରେ ଓ $\bar{\nu}$ ଟି x ଅକ୍ଷ ହୁଏ । CuH ବ୍ୟାଣ୍ଡ $\lambda 4280$A° ପାଇଁ ଚିତ୍ର ୧୯·୧୨କରେ ଏପରି ଏକ ଗ୍ରାଫ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଏହାର Q ଶାଖା ନାହିଁ; ଚିତ୍ର ୧୯·୧୨ଖରେ ଏହି ବ୍ୟାଣ୍ଡର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ଚିତ୍ର ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଛି । ବ୍ୟାଣ୍ଡର ଶୀର୍ଷଟି ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ଚିତ୍ରରେ ସହଜ ଭାବରେ ଦେଖାଯାଉଅଛି ଓ ସେଠାରୁ ଲାଲ ଆଡ଼କୁ ବ୍ୟାଣ୍ଡଟି ମଳିନ ହୋଇଯାଇଅଛି । ଏହାର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ସଂକ୍ରମଣ ହେଲା $^1\Sigma\rightarrow{}^1\Sigma$ ।

ଗୋଟିଏ ବ୍ୟାଣ୍ଡମଣ୍ଡଳରେ ବିଭିନ୍ନ ବ୍ୟାଣ୍ଡମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା, ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ସଂକ୍ରମଣ କିନ୍ତୁ v' v'' ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ମୂଲ୍ୟରୁ ଜାତ ହୋଇଥିଲେ, ଅତି ଅଧିକ ହୋଇପାରେ । କିନ୍ତୁ $v'-v''$, vରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ, ହାର୍ମୋନିକ ଦୋଳକ ପରି ± 1ରେ ସୀମିତ ନରହିଲେ ବ, ମଧ୍ୟମ ମୂଲ୍ୟଗୁଡ଼ିକରେ ସୀମିତ ହେବାର ପ୍ରବୃତ୍ତି ଦେଖାଇଥାଏ ।

ଏପରି କେତେଗୋଟି ବ୍ୟାଣ୍ଡମଣ୍ଡଳ ଅଂଶ ଚିତ୍ର ୧୯.୧୬ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଗୋଟିଏ ବିଶାଳ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ଅଞ୍ଚଳ ନେବା ଉଦ୍ଦେଶ୍ୟରେ ସ୍ୱଳ୍ପ ବିଶ୍ଳେଷଣ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇଅଛି: ତେଣୁ ଚିତ୍ରରେ ପ୍ରତି ବ୍ୟାଣ୍ଡ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ରେଖାରୂପରେ ଦେଖାଯାଉଛି । ସେହି ଦଳଗୁଡ଼ିକ ଆଖିକୁ ଦେଖାଯାଉଅଛି । ସେଗୁଡ଼ିକ ଏକା ଅନ୍ତର ମୂଲ୍ୟ $\nu' - \nu''$ ଥିବା ବ୍ୟାଣ୍ଡଗୁଡ଼ିକର ଦଳ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ—ν', ν''ର ମୂଲ୍ୟ, 6 − 3, କେତେକ ବ୍ୟାଣ୍ଡ

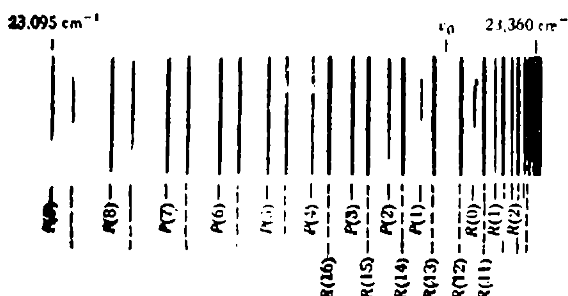




[ଚିତ୍ର ୧୯.୧୬ (କ) CuH ବ୍ୟାଣ୍ଡ λ4280 A°ର ଫୋଟୋ ଚିତ୍ର । ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ବୃହଦ୍‌ବର୍ଦ୍ଧିତ ହୋଇଅଛି. ଅଙ୍କରେ ସଂକ୍ରମଣରେ ଭାଗ ନେଇଥିବା ଦୁଇ J ମଧ୍ୟରୁ ଅଧିକ J ଟି ଦିଆଯାଇଅଛି; $\nu_0 = \nu_v' - \nu''$; (ଖ) ଏହି ବ୍ୟାଣ୍ଡର ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ଚିତ୍ର ଉପର ଶାଖାରେ J ମୂଲ୍ୟକୁ ନେଇ ।]

ଯାଉଁ ଦେଖାଇଦିଆଯାଇଅଛି । $^3\pi \to {}^3\pi$ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ସଂକ୍ରମଣରୁ ଜାତ ସ୍ୱାନ୍ ବ୍ୟାଣ୍ଡଗୁଡ଼ିକ; $^2\Sigma \to {}^2\Sigma$ରୁ ଜାତ ବାଇଗଣୀ CN ବ୍ୟାଣ୍ଡ; $^2\pi \to {}^2\Sigma$ ସଂକ୍ରମଣରୁ ଜାତ ଲାଲ CN ବ୍ୟାଣ୍ଡ ।

ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କ ଅପେକ୍ଷା ବହୁତ ଅଧିକ ଦ୍ରୁତ ଗତିରେ ଯାଉଥିବାରୁ; ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସଂକ୍ରମଣ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର ଦୋଳନ ଗତି ତୁଳନାରେ ଏତେ ବେଗରେ ଘଟିଥାଏ ଯେ, ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ବ୍ୟବଧାନ ସଂକ୍ରମଣ ସମୟରେ ପ୍ରଧାନତଃ ଧ୍ରୁବ ହୋଇଥାଏ । ଏହି ବିଷୟଟିକୁ ଫ୍ରାଙ୍କ-କନଡନ ନିୟମ କହନ୍ତି । ଏହା ଚିତ୍ର ୧୯·୮ର ଅଭିଲମ୍ବ ପଡ଼ିଥିବା ରେଖାଦ୍ୱାରା ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି ।



[ଚିତ୍ର·୧୯·୧୩, CN ଓ C_2ର (ବାୟୁର ଭାଙ୍ଗନ ଅର୍ଦ୍ଧ) ନେଇବ୍ୟାଣ୍ଡମଣ୍ଡଳ]

ଲକ୍ଷ୍ୟ କର ଯେ, ହାଇଡ୍ରାଇଡର ଅନ୍ତଃନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ବ୍ୟବଧାନ ଉପରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ସ୍ତରମାନଙ୍କରେ ଅଧିକ ।

ଏକା ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥର ବିଭିନ୍ନ ଆଇସୋଟୋପ୍ ରହିଥିବା ଅଣୁମାନଙ୍କର ବ୍ୟାଣ୍ଡ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମଗୁଡ଼ିକ ସାମାନ୍ୟ ପରିମାଣରେ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ହୋଇଥାଏ, ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ବସ୍ତୁତ୍ୱରେ ପ୍ରଭେଦ ଲାଗି ଏପରି ହୋଇଥାଏ । ଏହି କାରଣରୁ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ଦେଖାଯାଉଥିବା ଅଧିକା ରେଖାସବୁ ସମସ୍ତ ସମୟରେ ବିରଳ ଆଇସୋଟୋପଗୁଡ଼ିକର ଅବସ୍ଥାନ ସମ୍ଭବ କରିଥାଏ । ପାରମାଣବିକ ଓଜନ 18 ଥିବା ଅମ୍ଳଜାନ ଆଇସୋଟୋପ ଏହିପରି ଆବିଷ୍କୃତ ହୋଇଥିଲା । ଏହା O^{16} ସେହି ପରିମାଣରେ ଥାଏ, ତାର ପ୍ରାୟ 1/500 ଭାଗରେ ରହିଥାଏ ।

19.11 ରମନ୍ ପ୍ରଭାବ :

ଏହି ଅବସ୍ଥାରେ ସାମାନ୍ୟ ବହୁତ ପରେ ଏଇ ରମନ ପ୍ରଭାବ ବର୍ଣ୍ଣନା କରିବା । ଏହି ପ୍ରଭାବ ପାରମାଣବିକ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ଦେଖାଯାଇଥାଏ, ମାତ୍ର ବ୍ୟାଣ୍ଡ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ସହିତ ଏହାର ବିଶେଷ ସମ୍ବନ୍ଧ ରହିଅଛି ।

ଯେତେବେଳେ ଆଲୋକ ଗୋଟିଏ ସ୍ୱଚ୍ଛ ପଦାର୍ଥ ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଗତିକରେ (ଏହା କଠିନ, ତରଳ ବା ଗ୍ୟାସୀୟ ହୋଇ) ଆଲୋକର କିଛି ଅଂଶ ସବୁଆଡ଼େ ବିକ୍ଷିପ୍ତ ହୋଇଯାଏ (ଏହା ଟିଣ୍ଡଲ ପ୍ରଭାବ) । ଏହାର ସବୁଠାରୁ ଜଣାଶୁଣା ଉଦାହରଣ ହେଲା 'ମୁକ୍ତ ଆକାଶରୁ ଆସୁଥିବା ଆଲୋକ । ଏହିପରି ବିଚ୍ଛୁରଣ ଗୋଟିଗୋଟି କଣ ଅଣୁମାନଙ୍କ ଲାଗି ବା କେତେଗୁଡ଼ିଏ ଅଣୁର ଗୋଟିଏ ଦଳର ସରଳରୈଖିକ ଆକାର ଆଲୋକର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ତୁଳନାରେ ବହୁତ ସାନ ହେଲେ ସେମାନଙ୍କ ଲାଗି ହୋଇଥାଏ ବୋଲି ରାଲେ ଯୁକ୍ତି କଲେ । ଆପତନ ରଶ୍ମି ଯଦି ଏକରଙ୍ଗୀ ହୁଏ, ବିଚ୍ଛୁରିତ ଆଲୋକର ସାଧାରଣତଃ ସ୍ପନ୍ଦନ ନବଦଳିବାର ଦେଖାଯାଏ । ଏହା ରାଲେଙ୍କ ତତ୍ତ୍ୱର ଅନୁସାରୀ ।

କିନ୍ତୁ 1925ରେ କ୍ରାମରସ୍ ଓ ହାଇଜେନବର୍ଗ ଦେଖାଇଲେ ଯେ, ପୁରାତନ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ, ଯଦି ବିଚ୍ଛୁରକାରୀ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ପରମାଣୁ ବା ଅଣୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଗତିଶୀଳ ଅବସ୍ଥାରେ ଥାଆନ୍ତି, ବିଚ୍ଛୁରଣ ଆଲୋକରେ ଆପତନ ଆଲୋକର ସ୍ପନ୍ଦନ ସହିତ ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ସ୍ପନ୍ଦନ ମଧ୍ୟ ରହିବ । ପୁରାତନ ତତ୍ତ୍ୱର ଏହି ପ୍ରସ୍ତାବନାକୁ ଦେଖିବାରେ ବିଫଳ ହେବାର କାରଣ ହେଲା ବିକିରଣଦ୍ୱାରା ବାଧାପ୍ରାପ୍ତ ନହେବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ବିକିରଣକାରୀ କଣିକା ସ୍ଥିର ଥାଏ ବୋଲି ସାଧାରଣ ଭାବରେ ଅନୁମାନ କରିବା । 1928ରେ ତାଙ୍କ ପ୍ରସ୍ତାବନାର ସାହାଯ୍ୟ ନନେଇ, ରମନ ଓ କୃଷ୍ଣନ ତରଳ ପଦାର୍ଥ ଓ କଠିନ ପଦାର୍ଥରେ ବିଚ୍ଛୁରଣକୁ ତନ୍ନତନ୍ନ ଭାବରେ ଆଲୋଚନା କଲାବେଳେ ପରୀକ୍ଷାରୁ ଏହି ଘଟଣା ଦେଖି ପାରିଥିଲେ ।

ସ୍ପନ୍ଦନରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇ ଆଲୋକର ବିଚ୍ଛୁରଣ ସେହିଦିନଠାରୁ ତନ୍ନତନ୍ନ ଭାବରେ ଆଲୋଚିତ ହୋଇଅଛି । ଏହାକୁ ସାଧାରଣତଃ ରମନ ପ୍ରଭାବ ବୋଲି କୁହାଯାଇଥାଏ । ଏହାକୁ ଦେଖିବାପାଇଁ, ଆପତନ ଆଲୋକ ଏକରଙ୍ଗୀ ଓ ଖୁବ୍ ତୀବ୍ର ହେବା

ଦରକାର । ଯେତେବେଳେ ବିଚ୍ଛୁରଣ ଆଲୋକରେ ଆପତନ ଆଲୋକର ସ୍ପନ୍ଦନ ସହ ସମାନ ସ୍ପନ୍ଦନର ଆଲୋକ ପାଖକୁ ଅନ୍ୟ ସ୍ପନ୍ଦନମାନଙ୍କର କେତେକ ମଳିନ ରେଖା ଦେଖାଯାଇ ଥାଏ । ଯଦି ଆପତନ ସ୍ପନ୍ଦନ νରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ କରାଯାଏ, ଏହି ଅନ୍ୟ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ସେହି ହାରରେ ସ୍ପନ୍ଦନ ଅକ୍ଷରେ ଗତି କରିଥାଏ, νରୁ ଏହା ଧ୍ରୁବ ସ୍ପନ୍ଦନ ତାରତମ୍ୟ ରକ୍ଷା କରିଥାଏ ଓ ପ୍ରକୃତରେ ବିଶେଷ ବଦଳ ନଥାଏ । ଏହି ଗୁଣରେ ପ୍ରତିଦୀପ୍ତ ରେଖାମାନଙ୍କ ଅପେକ୍ଷା ରମନ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ହଠାତ୍ ଭିନ୍ନ ହୋଇଥାଏ । ପ୍ରତିଦୀପ୍ତ ରେଖାଗୁଡ଼ିକର ସ୍ପନ୍ଦନ ବିଚ୍ଛୁରଣକାରୀ ପଦାର୍ଥଦ୍ୱାରା ସ୍ଥିରୀକୃତ ହୋଇଥାଏ ଏବଂ ଯେତେବେଳେ ପଦାର୍ଥଟିର କୌଣସି ଗୋଟିଏ ଶୋଷଣ ରେଖା ଉପରେ ଆପତନ ସ୍ପନ୍ଦନ ପଡ଼ିଯାଏ, ସେତେବେଳେ ପ୍ରତିଦୀପ୍ତ ଆଲୋକ ବାହାରିଥାଏ । ରମନ ପ୍ରଭାବରେ ବିଚ୍ଛୁରିତ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମରେ ସ୍ପନ୍ଦନ ବିସ୍ଥାପନଟି ବିଚ୍ଛୁରକୋଣର ପ୍ରକୃତି ଦ୍ୱାରା ସ୍ଥିର ହୋଇଥାଏ । ସେହି ସ୍ପନ୍ଦନଗୁଡ଼ିକ ନୁହେଁ ।

ଯେତେବେଳେ ସ୍ପନ୍ଦନ ν ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ଫୋଟନ ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁ ବା ଅଣୁଦ୍ୱାରା ବିଚ୍ଛୁରିତ ହୋଇଥାଏ ଓ ପରମାଣୁ ବା ଅଣୁଟିର କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥା ଏ ପ୍ରଣାଳୀରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୁଏନାହିଁ, ବିଚ୍ଛୁରିତ ଫୋଟନର ଆପତନ ଫୋଟନ ସହ ସମାନ ସ୍ପନ୍ଦନ ହୋଇଥାଏ । କିନ୍ତୁ ହୋଇପାରେ ଯେ, ପରମାଣୁ ବା ଅଣୁଟି ରହିଥିବା ସ୍ତରର ଶକ୍ତି E_1ରୁ ଗୋଟିଏ E_2 ଶକ୍ତିବିଶିଷ୍ଟ ଭିନ୍ନ ସ୍ତରକୁ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇଯାଇପାରେ । ଶକ୍ତିର ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମ ସେତେବେଳେ ଦରକାର କରେ ଯେ, ବିଚ୍ଛୁରିତ ଫୋଟନର ସ୍ପନ୍ଦନ ν', ସେତେବେଳେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇଗଲେ ଓ $h\nu' + E_2 = h\nu + E_1$ ହେବ, ତେଣୁ

$$\nu' = \nu + \frac{E_1 - E_2}{h}$$

ଏହି ଧାରଣା ଅନୁସାରେ ସ୍ମେକଲ ରମନ ପ୍ରଭାବର ଧାରଣା ବହୁ ଆଗରୁ ଦେଇଥିଲେ ।

ଏଠାରେ ଯେଉଁ ଉକ୍ତି ଲେଖାଗଲା, ସେଥିରେ $\frac{E_1 - E_2}{h}$ ପଦଟି ν_{12} ସ୍ପନ୍ଦନ ସ୍ୱରୂପରେ ବୁଝାଯାଇପାରେ । ଏହି ସ୍ପନ୍ଦନ ପରମାଣୁ ସାଧାରଣ ଭାବରେ ପ୍ରଥମ ଅବସ୍ଥାକୁ ଗଲାବେଳେ ବିକିରିତ ହୋଇପାରେ । ତେଣୁ ରମନ ରେଖାପାଇଁ ଆମେ ଲେଖିପାରିବା

$$\nu' = \nu + \nu_{12}$$

ପ୍ରତି ରମନ ରେଖାର ସ୍ପନ୍ଦନ ଓ ଅପ୍ଲେକର ସ୍ପନ୍ଦନ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରଭେଦ ଏହିପରି ବିଚ୍ଛୁରକ ପରମାଣୁ ବା ଅଣୁର ଅନୁମିତ ନିଷ୍କାସନ ବା ଶୋଷଣ ରେଖାର ସ୍ପନ୍ଦନ ସହିତ ସମାନ ।

ଗୋଟିଏ ରମନ ରେଖାର ତୀବ୍ରତା ଏହା ସହିତ ଉକ୍ତ ଉପାୟରେ ସଂଯୁକ୍ତ ନିଷ୍କାସିତ ବା ଶୋଷିତ ରେଖାର ତୀବ୍ରତା ସହିତ କୌଣସିମତେ ସଂଯୁକ୍ତ ନୁହେଁ । ଦୁହିଁଙ୍କ ପାଇଁ ବର୍ଜ୍ଜ ନିୟମ ସଂପୂର୍ଣ୍ଣ ଭିନ୍ନ; ସାଧାରଣ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ଯେଉଁ ସଂକ୍ରମଣଗୁଡ଼ିକ ନିଷିଦ୍ଧ, ରମନ ପ୍ରଭାବରେ ସେଗୁଡ଼ିକ ନିର୍ଦ୍ଧିଧାରେ ଦେଖାଯାଇଥାନ୍ତି । ଏହି କାରଣରୁ ଏହାର ତାତ୍ତ୍ୱିକ ଆଲୋଚନା ବିଶେଷ ଉତ୍ସାହଜନକ । ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକ ଅନୁସାରେ, ଦୁଇଟି ପାରମାଣବିକ ବା ଆଣବିକ ସ୍ତର A ଓ B ମଧ୍ୟରେ ରମନ ଉଭୟ ସମ୍ଭବ ହେବ, ଯଦି ଅନ୍ତତଃ ଏପରି ଗୋଟିଏ ତୃତୀୟ ସ୍ତର C ଥାଏ ଯେ, ସାଧାରଣ ବିକିରଣ ସଂକ୍ରମଣ A ଓ C ଏବଂ B ଓ C ମଧ୍ୟରେ ନିଷିଦ୍ଧ ନୁହେଁ । ମୋଟାମୋଟି ଯଦି ଯେପରି ପରମାଣୁ ବା ଅଣୁ ପ୍ରଥମେ Aରୁ Cକୁ ଡିଏ ଏବଂ ପରେ Cରୁ Bକୁ ଡିଏଁ । ବିଭିନ୍ନ ପ୍ରଣାଳୀମାନଙ୍କର ଆପେକ୍ଷିକ ସମ୍ଭାବନାଗୁଡ଼ିକ ଏହି ସରଳ ଚିତ୍ରର ଅନୁସାରୀ ନୁହେଁ; କିନ୍ତୁ ପ୍ରତିଦୀପ୍ତିବେଳେ ପରମାଣୁ ବା ଅଣୁ ଯେପରି ସେ ସ୍ତରରେ କେତେକ ସସୀମ ସମୟ ପାଇଁ ରହୁଥିଲେ, ଏଠାରେ C ଅବସ୍ଥାରେ ସେପରି ରହନ୍ତି ବୋଲି କୁହାଯାଇପାରିବ ନାହିଁ ।

ବହୁ ପାରମାଣବିକ ଅଣୁମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ବିଚ୍ଛୁରିତ ଆଲୋକରେ ଅଣୁର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ବା ଦୋଳନଘୂର୍ଣ୍ଣନ ବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମମାନଙ୍କରେ ଅତ୍ୟନ୍ତ ସମ୍ଭବ ଥିବା ରେଖା-ମାନଙ୍କ ସହ ଏପରି ଭାବରେ ସଂଯୁକ୍ତ ରମନ ରେଖାସବୁ ରହିପାରେ । ଏ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରକୃତରେ ଦେଖାଯାଇଛନ୍ତି ବା କୌଣସି ବର୍ଜ୍ଜ ନିୟମ ଦ୍ୱାରା ସୁଧାସଳଖ ଦେଖାଯିବାରେ ବାଧା ରହିଛି, ତାସଙ୍ଗେ କୌଣସି ସମ୍ପର୍କ ନାହିଁ ।

ସାଧାରଣ ପ୍ରକାରର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ବର୍ଜ୍ଜ ନିୟମ ହେଲ $\Delta J = \pm 1$ । ସେଥିପାଇଁ ଏହିସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ସଙ୍ଗେ ସଂଯୁକ୍ତ ରମନ ରେଖା ପାଇଁ ବର୍ଜ୍ଜ ନିୟମ ହେଲା, ତୃଏତ $\Delta J = 0$ (ଅର୍ଥାତ୍ $J \rightarrow J \pm 1$ Aରୁ Cକୁ ଡିଏଁ ପାଇଁ ଓ Bରୁ Cକୁ ଡିଏଁ ପାଇଁ $J \pm 1 \rightarrow J$) ବା $\Delta J = \pm 2$ $\Delta J = 0$ ହେଲାବେଳେ ଆବେଗ ଶକ୍ତିରେ କୌଣସି ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୁଏନାହିଁ । ତେଣୁ ଏତେବେଳେ କେବଳ ସାଧାରଣ ବା ରାଲେ ବିଚ୍ଛୁରଣ

ହୋଇଥାଏ । ସେଥିପାଇଁ କାର୍ଯ୍ୟତଃ କେବଳ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଲାଗି ରମନ ରେଖା ପାଇଁ ଆମେ ନିୟମ ପାଇବା $\Delta J = \pm 2$

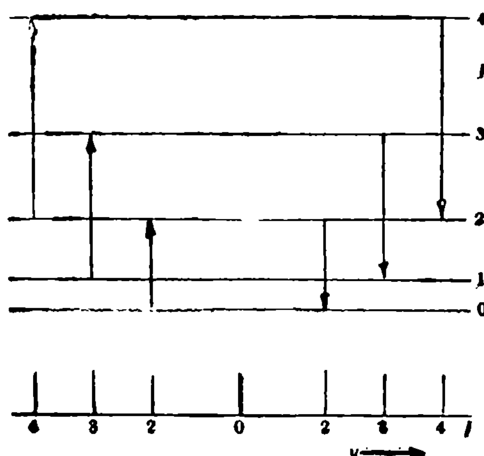
ବସ୍ତୁଗତ ଅନେକରେ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ଦେଖାଯିବା ଭଳି ଅପତିତ ରେଖା ସହ ଏହାର ଦୁଇ ପାଖରେ କେତେଗୁଡ଼ିଏ ରେଖା ଦେଖାଯାଇଥାଏ । ସୁଦୂର ଲୋହିତରେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ଯେତିକ ଅନ୍ତରରେ ଥାଏ, ଏଗୁଡ଼ିକ ତା'ର ଦୁଇଗୁଣ ଅନ୍ତରରେ ରହିଥାଏ । ସମୀକରଣ (୧୯.୩)ରୁ ଦେଖାଯାଏ ଯେ, ରମନ ରେଖାଗୁଡ଼ିକର ଅପତିତ ରେଖାଠାରୁ ବିସ୍ଥାପନ $J(J+1)-(J-2)(J-1)$କୁ ବା $2(2J-1)$କୁ ଅନୁପାତୀ ହୋଇଥାଏ । ଏଠାରେ J ଉପର ଘୂର୍ଣ୍ଣନସ୍ତର ନିଆଯାଇଅଛି । ତେଣୁ, $J>2$ ହୋଇଥିବାରୁ ବିସ୍ଥାପନଗୁଡ଼ିକ 6, 10, 14 ·· କୁ ଅନୁପାତୀ । ସେଥିପାଇଁ ଅପରିବର୍ତ୍ତିତ ରେଖାଠାରୁ ପ୍ରଥମ ରମନ ରେଖାପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଦୂରତା ହେଲା ରମନରେଖାଗୁଡ଼ିକର ନିଜ ନିଜ ମଧ୍ୟରେ ଅନ୍ତରର 1·5ଗୁଣ । ଚିତ୍ର ୧୯.୧୪ରେ ଏହି ରେଖାଗୁଡ଼ିକର ଉତ୍ସ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି ।

ଏହି ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ରମନ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ଛଡ଼ା, ବହୁ ଦୂରରେ ଓ ସାଧାରଣତଃ କେବଳ ସାର୍ଘତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟପଟେ, ସାଧାରଣ ଦୋଳନ-ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର ଅନୁସାରେ ଗୋଟିଏ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ଦେଖାଯାଇପାରେ । ଏହି ବ୍ୟାଣ୍ଡ ପାଇଁ ବର୍ଜ୍ୟ ନିୟମ

$$\Delta J = 0 \text{ ବା } \pm 2$$

ବୋଲି ସହଜରେ ଦେଖାଯାଇପାରିବ । ଯେଉଁ ରେଖାମାନଙ୍କ ପାଇଁ $\Delta J = 0$, ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଶକ୍ତିରେ ପ୍ରାପ୍ତ କୌଣସି ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୁଏନାହିଁ । ସେଗୁଡ଼ିକ ମିଳି ଗୋଟିଏ ଉଜ୍ଜ୍ୱଳରେଖା ରୂପେ ଦେଖାଯାଏ । ଦୋଳନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ ν_{0} ,, ବା ν_{10} ସ୍ୱନବିଶିଷ୍ଟ ଯେଉଁ ମଧ୍ୟରେଖାଟି ଦେଖାଯାଏନାହିଁ, ମୋଟାମୋଟି ତା'ର ସ୍ଥାନରେ ଏହା ଦେଖାଯାଇଥାଏ । ଏ ରେଖାର ପ୍ରତ୍ୟେକପଟେ $\Delta J = \pm 2$ ପାଇଁ ବହୁ ମଳିନତର ରେଖା ଥାଏ । ଏହି ଦୋଳନଗତ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହେଲା $v = 0$ରୁ $v = 1$, ଠିକ୍ ଯାହା ଶୋଷଣ ପାଇଁ ହୋଇଥାଏ । ଯେଉଁ କ୍ଷେତ୍ରରେ $v = 1$ ପାଇଁ ଦୋଳନସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ଏତେ ତଳେ ଥାଏ ଯେ, ତାପଜ ଆନ୍ଦୋଳନ ଫଳରେ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ଅଣୁ ଏହି ସ୍ତରରେ ରହିଥାଏ, ଏଥିପାଇଁ

ମଳିନ ରମନ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ଉତ୍ତେଜକକାରୀ ରେଖାର ଶ୍ରେଣ୍ଠ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟପଟେ ଦେଖାଯିବା ଉଚିତ । ଏହା $v = 1$ରୁ $v = 0$କୁ ସଂକ୍ରମଣ ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ ।



[ଚିତ୍ର ୧୯.୧୪ ଗୋଟିଏ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ରମନ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ପାଇଁ ଶକ୍ତିସ୍ତର ଚିତ୍ର]

ବହୁ ରମନ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ଦେଖାଯାଇଅଛି । ଆଣବିକ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥା ସମ୍ବନ୍ଧରେ ସେଥିରୁ ମୂଲ୍ୟବାନ୍ ତଥ୍ୟସବୁ ମିଳିଥାଏ । ଭାରତରେ ପାରଦ ଆର୍କରୁ ନିର୍ଗତ ଆଲୋକ ଦ୍ୱାରା ଅତି ଉଜ୍ଜ୍ୱଳଭାବରେ ଆଲୋକିତ HCl ଗ୍ୟାସରୁ ବିଚ୍ଛୁରଣ ଲକ୍ଷ୍ୟ ଓ ତାହାର ନିରୀକ୍ଷଣ କରିଥିଲେ । ସେମାନେ 4581·8 A°ରେ ଯେ ଟିଏ ରେଖା ଦେଖିଥିଲେ । ଏହା 4047 A°ଠାରେ Hg ରେଖାଦ୍ୱାରା ଉତ୍ତେଜିତ ଦୋଳନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ରମନ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ଗୋଟିଏ ଉଜ୍ଜ୍ୱଳ ରେଖା ବୋଲି ପ୍ରକାଶ କରିଥିଲେ । ଏହି ଦୁଇ ରେଖା ମଧ୍ୟରେ ସ୍ପନ୍ଦନ ତାରତମ୍ୟ ହେଲା 2886·0 cm^{-1} । ଏହା HClରୁ ନିସୃତ 3·5μ ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ ନଥିବା ମଧ୍ୟରେଖାରେ ସ୍ପନ୍ଦନ ସହିତ ଏହା ପୁରାପୁରି ମିଶିଯାଇଅଛି । ଅନୁରୂପ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ 4358 A°ଠାରେ ପାରଦ ରେଖାର ପାଖାପାଖି ରେଖାମାନଙ୍କର ଅନ୍ତର ଅଧିକାଂଶ କ୍ଷେତ୍ରରେ 41 ଓ 42 cm^{-1} ରେ ରହେ । ଏହା ଟେବୁଲ ୧୯·୧ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଥିବା HClର ସାଧାରଣ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ଅନ୍ତରର ଦ୍ୱିଗୁଣ ସହିତ ଉତ୍ତମରୂପେ ମିଳିଯାଇଥାଏ ।

ଏମାନଙ୍କ O_2 ଓ N_2 ପରି ସମକେନ୍ଦ୍ରକ ଅଣୁଗୁଡ଼ିକ ଦୋଳନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଓ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର ଅନୁରୂପ ରମନ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ଦେଉଥାନ୍ତି । ଯଦିଓ ଶେଷୋକ୍ତିଟି ସିଧାସଳଖ ଦେଖା ଯାଏନାହିଁ । ଏ ଅଣୁଗୁଡ଼ିକ ଅନୁ: ୬°୯ରେ ବିଶେଷଭାବରେ ଆଲୋଚିତ ହୋଇଅଛୁ ।

19·12 ଆମୋନିଆ କମ୍ପନ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ :

ବହୁ ପାରମାଣିବ ଅଣୁମାନଙ୍କର ବ୍ୟାଣ୍ଡ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ଜଟିଳ । ଅଣୁମାନଙ୍କର ଅନେକ ସ୍ଥିତିର ଦୋଳନ ସମ୍ଭବ । ଯଦି ଏହି ସ୍ଥିତିଗୁଡ଼ିକରେ ଦୋଳାୟମାନ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଆ ଘୂର୍ଣ୍ଣ ରହିଥାଏ ସେଥିରୁ ଦେଖାଯାଇପାରିବା ଭଳି ଦୋଳନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ବ୍ୟାଣ୍ଡସବୁ ମିଳିଥାଏ । ଡ୍ରେ ୧୯°୬୭ରେ ସରଳ ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକରେ ଆଣା କରଯାଇଥିବା ଏହି ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର ଗୁଣାତ୍ମକ ଘଟଣାବଳୀ ଆଲୋଚନା କରିଥିଲେ । ଗ୍ୟାସୀୟ ଆମୋନିଅଁର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ବିଶେଷ ଘଟଣା ମିଳିଥାଏ ।

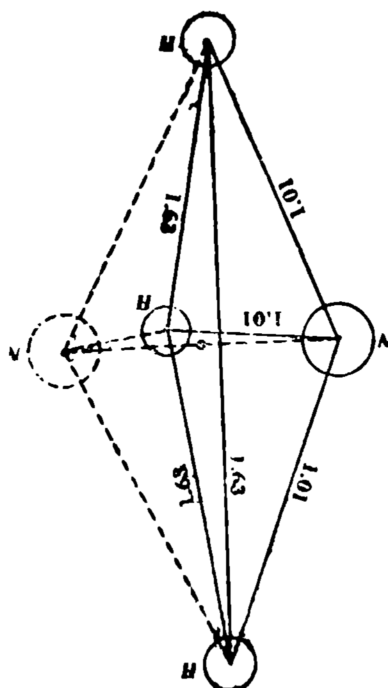
ଆମୋନିଆ ଅଣୁ, NH_3, ରେ ନଉକ୍ଲିୟସଗୁଡ଼ିକ ଗୋଟିଏ ପିରାମିଡର କୋଣମାନଙ୍କରେ ଥିବାର ଅନୁମାନ କରାଯାଇପାରେ । Nଟି ଶୀର୍ଷବିନ୍ଦୁରେ, ଏବଂ H ଗୁଡ଼ିକ ଗୋଟିଏ ସମବାହୁ ତ୍ରିଭୁଜାକାର ଭୂମିର କୋଣବିନ୍ଦୁମାନଙ୍କରେ (ଚିତ୍ର ୧୯·୧୪) । ହିସାବ କରାଯାଇପାରେ ଯେ, N ନଉକ୍ଲିୟସଟି H_3 ସମତଳଠାରୁ ପ୍ରାୟ 0·36A° ଦୂରତାରେ ଥାଏ, NH ଦୂରତା ହେଲା ପ୍ରାୟ 1·01A° ଓ HH, 1·63A°; HNH କୋଣଗୁଡ଼ିକ ହେଲା ପ୍ରାୟ 108° । ଅଣୁଟିର ଦୋଳନରେ ନଉକ୍ଲିୟସଗୁଡ଼ିକ ସେମାନଙ୍କର ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାର ଅବସ୍ଥାନଠାରୁ ଅଳ୍ପ ଦୂର ମାତ୍ର ଯାଇଥାନ୍ତି । 4ଟି କଣିକାର ଗୋଟିଏ ମଣ୍ଡଳର ମୋଟରେ 18ଟି ମୁକ୍ତମାତ୍ରା ରହିଥାଏ, କିନ୍ତୁ ସେଥିରୁ ସେମାନଙ୍କର ସାଧାରଣ ଭାରକେନ୍ଦ୍ରର ଆଉ 3ଟି କଠିନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନର, ଅବଶିଷ୍ଟ 6ଟି ଦୋଳନ ମୁକ୍ତମାତ୍ରା । କିନ୍ତୁ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟତା ଫଳରେ ଅଣବକାଶ ଘଟିଥାଏ, ତେଣୁ ଆମେ କେଅ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ର 4ଟି ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଦୋଳନର ସ୍ପନ୍ଦନ ଦେଖାଯାଇଥାଏ, ଯଥା : $\bar{\nu}_1 = 3336 cm^{-1}$ $\bar{\nu}_2 = 341{\cdot}4 cm^{-1}$ ପରେକ୍ତିଟି ମଳିନ, ଓ ଦୁହେଁ $\lambda = 3\mu$ ପାଖରେ; $\bar{\nu}_3 = 949{\cdot}9 cm^{-1}$

(10·5μ) ଓ $\bar{\nu}_4 = 1627{\cdot}5\ cm^{-1}$ (6·2μ), ଉପରୋକ୍ତି ଅଣୁ ଦୋଳନ । $\bar{\nu}_1$ ଓ $\bar{\nu}_3$ରେ ସିମେଟ୍ରିର ଅକ୍ଷ ତୁଳନାରେ ନାଇଟ୍ରୋଜେନ୍ ପରମାଣୁଟି ସାମଞ୍ଜସ୍ୟୀ ଭାବରେ ଗତି କରିଥାଏ; $\bar{\nu}_2$ ଓ $\bar{\nu}_4$ ପାଇଁ ଦୁଇଟି ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ସ୍ତର ଥାଏ; ତେଣୁ ମୋଟରେ ଛଅଟି ସ୍ତର ରହିଥାଏ ।

ଲକ୍ଷ୍ୟ କରିଯିବା ଉଚିତ ଯେ ପ୍ରୋଟନମାନଙ୍କର ଦତ୍ତ ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କ ପାଇଁ N ଅଣୁଟି H_3 ସମତଳର ଗୋଟିଏ ପାର୍ଶ୍ୱରେ ବା ଅପରପାର୍ଶ୍ୱରେ ରହିପାରେ । ଏହା ଚିତ୍ର (୧୯·୧୫)ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଏହି ବ୍ୟବସ୍ଥା ଦୁଇଟି H_3 ସମତଳ ସହିତ ସମାନ୍ତରଭାବରେ ଥିବା ଦର୍ପଣରେ ପ୍ରତିଫଳନ ଦ୍ୱାରା ପରସ୍ପର ସହିତ ସମ୍ପୃକ୍ତ; ଏଥିରୁ ଗୋଟିଏ କେବଳ ଘୂର୍ଣ୍ଣନଦ୍ୱାରା ଅନ୍ୟ ଗୋଟିକରେ ପରିଣତ ହୋଇପାରିବନାହିଁ । ଏଗୁଡ଼ିକରୁ ଗୋଟିକୁ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଓ ଦୁଇଟି ପ୍ରୋଟନର ସ୍ଥାନ ବିନିମୟ ଦ୍ୱାରା ଅନ୍ୟଟିରେ ପରିଣତ କରାଯାଇପାରିବ । ସବୁ ପ୍ରୋଟନଙ୍କର ଏକା ଗୁଣ ହୋଇଥିବାରୁ ପୁରାତନ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଅନୁସାରେ NH_3ର ଦୁଇଟି ଆକାର ଭୌତିକୀ ପ୍ରଣାଳୀରେ ପରସ୍ପରଠାରୁ ଭିନ୍ନ ହେବନାହିଁ । କିନ୍ତୁ, ଏପରି ଅବସ୍ଥାରେ ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଗୋଟିଏ ପୁରାତନ ନହୋଇଥିବା ପାର୍ଥକ୍ୟ ଆଣି ଦେଇଥାଏ ।

ଅଣୁଟିର H_3 ସମତଳକୁ ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ N ଗତି କରିବାଦ୍ୱାରା (x ଏହାର ଏହି ସମତଳରୁ ଦୂରତା ହେଉ) ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି P ହେଉଥିବା ପରିବର୍ତ୍ତନ ବିଚାର କରାଯାଉ । P ପାଇଁ ରେଖାଟି xରେ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟୀ । H ପରମାଣୁମାନଙ୍କରେ ତୁଳନାରେ N'ର ଦୁଇଟି ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାର ସାମ୍ଭବ୍ୟ ଅବସ୍ଥାନ ପାଇଁ ଏଥିରେ ଦୁଇଟି ଏକାପରି ନିମ୍ନତମ ଅବସ୍ଥା ରହିଅଛି, ଏ ଦୁହେଁ ଗୋଟିଏ ବିଭବ ପ୍ରାଚୀର ଦ୍ୱାରା ପୃଥକ ହୋଇଛନ୍ତି । ଏ ଅବସ୍ଥା ଚିତ୍ର ୧୯·୫୯ରେ ଦିଆଥିବା ଅବସ୍ଥା ସହିତ ଗୁଣାତ୍ମକ ଭାବରେ ମିଳିଯାଉଅଛି । ଯଦି ପ୍ରୋଟନଗୁଡ଼ିକ ସ୍ଥିର ରହନ୍ତି, ପ୍ରାଚୀରଟି ଉଚ୍ଚ ହେବ । କିନ୍ତୁ ପ୍ରୋଟନଗୁଡ଼ିକ ବାହାରକୁ ଓ ଭିତରକୁ ଗତି କରିବାବେଳେ ପ୍ରାଚୀରଟି ନିମ୍ନ ହୋଇଯାଏ, ବୋଧହୁଏ $3000\ cm^{-1}$ରୁ କମିଯାଏ । ପୁରାତନ ଯାନ୍ତ୍ରିକରେ N ପରମାଣୁଟି ଦୁଇଟି ମଧ୍ୟରୁ ଗୋଟିଏ "କୂପ"ରେ ରହିଥାଏ । ଅନ୍ୟ ପକ୍ଷରେ, ଗୋଟିଏ ନିମ୍ନତମ ଅବସ୍ଥାର ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ଏପରି ସ୍ଥଳେ କେନ୍ଦ୍ର ସାମଞ୍ଜସ୍ୟତା ତୁଳନାରେ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟୀ ବା ଅସାମଞ୍ଜସ୍ୟୀ ହେବ ଓ Nକୁ ଦୁଇଟି

ମଧ୍ୟରୁ ଗୋଟିଏ କୂପରେ ଯୁଗପତ୍‌ ପାଇବାର ସମାନ ସମ୍ଭାବନା ପ୍ରକାଶିତ ହେବ । ଯଦି ବାଉକ ପ୍ରାଚୀରଟି ଅତି ଉଚ୍ଚ ବା ଅତି ସଂକୀର୍ଣ୍ଣ ହୁଏ, କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କର ଶକ୍ତିଗୁଡ଼ିକ



[ଚିତ୍ର ୧୯'୧୫ ଆମୋନିଆ ଅଣୁ NH_3 । ସଂଖ୍ୟାଗୁଡ଼ିକ ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଆଙ୍ଗଷ୍ଟ୍ରମ ଏକକରେ ବ୍ୟବଧାନ ଦେଉଅଛି ।

ବହୁ ପରିମାଣରେ ଦୂରେଇ ଦୂରେଇ ରହିବେ; କିନ୍ତୁ ଯେତେବେଳେ ପ୍ରାଚୀରଟି ଉଚ୍ଚ ଓ ଚଉଡ଼ା ହୋଇଥାଏ, ସେମାନେ ପ୍ରାୟ ଯୋଡ଼ ଯୋଡ଼ ହୋଇ ଏକାଠି ଦେଖାଯାନ୍ତି । ଗୋଟିଏ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ଓ ଗୋଟିଏ ଅସାମଞ୍ଜସ୍ୟୀ ଏକାଠି ମିଳିଥାଏ । ସେମାନେ ଏକଦାରେ ମିଳିତ ହୋଇଯାଆନ୍ତିନାହିଁ । ଏହାର କାରଣ |ψ|² ସ୍ୱଳ୍ପ ସମ୍ଭାବନା ପ୍ରକାଶ କରିଥାଏ । ଏହା ଦୁଇ ଫଳନ ପାଇଁ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ । N ପ୍ରାଚୀର ମଧ୍ୟରେ ଏପଖିକ H_3ର ସମତଳରେ ମଧ୍ୟ ଦେଖାଯାଇପାରେ । ଏ ଧାରଣା ପୂର୍ବତନ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀର ବହୁର୍ଭୂତ ।

ଅନୁମାନ ଆରେ ଏହି ବ୍ୟୁତ୍କ୍ରମର ପ୍ରଭାବ ହେଲା ଯେ, ଦୋଳନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନର ପ୍ରତ୍ୟେକ ଅବସ୍ଥା ଦ୍ୱିଗୁଣ ହୋଇଯାଏ । ନିମ୍ନତମ ଦୁଇସ୍ତର, ଏଥିରୁ ଗୋଟିଏ ହେଲା ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥା, କେବଳ ପ୍ରାୟ 0·66 cm^{-1} ତାରତମ୍ୟରେ ରହିଥାଏ । (ଉତ୍ତେଜିତ ସ୍ତରର ଏହାର ପର ନିମ୍ନତମ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ 35·7 cm^{-1} ତାରତମ୍ୟରେ ରହିଥାଏ) । ବ୍ୟାଣ୍ଡ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ପ୍ରଭାବ ହେଲା ସମସ୍ତ ଦୋଳନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ବା ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ରେଖାଗୁଡ଼ିକୁ ଦ୍ୱିଧାରଗୁଡ଼ିକରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ କରିବା, ବନ୍ଧନସ୍ଥିର ଏପରି ହେବ ଯେ ଦ୍ୱିଧାର ତାରତମ୍ୟ $\Delta\nu$ ପ୍ରାଥମିକ ଓ ଶେଷ ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କରେ ବ୍ୟୁତ୍କ୍ରମ ତାରତମ୍ୟମାନଙ୍କର ଯୋଗଫଳ ହେବ । 1932ରେ ଏହି ପ୍ରଭାବ ଡେନିସନ୍ ଓ ହାର୍ଡ଼ି "ν_1 ବ୍ୟାଣ୍ଡ"ରେ ଦେଖିଥିଲେ; ଦୋଳନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ରେଖା ଗୁଡ଼ିକ 1·3 cm^{-1} ଅନ୍ତରରେ ହେଉଥିବା ଦ୍ୱିଧାର ଆକାରରେ ଦେଖାଯାଉଥିଲା । ଏହା ପରେ ରାଇଟ୍ ଓ ରାଣ୍ଡଲ ଶୋଷଣରେ ଦେଖାଯାଉଥିବା ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ରେଖା 71,83 ଓ 100μରେ ହାରାହାରି 1·3 cm^{-1} ବିଭାଜନ ଦେଖିପାରିଥିଲେ ।

ନିମ୍ନତମ ଦୁଇଟି ଆଣବିକ ସ୍ତର ମଧ୍ୟରେ ବିକିରଣୀୟ ସମ୍ଭବ ହୋଇଥାଏ, ଏହା ହିସାବରୁ ମିଳୁଥିବା $\bar{\nu}=0{\cdot}66\ cm^{-1}$ ସ୍ପନ୍ଦନ ବାରିମ୍ବା ବା ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ $\lambda=1{\cdot}5\ cm$ର ଅନୁସାରୀ । ଏହା NH_3 ବ୍ୟୁତ୍କ୍ରମ ରେଖା । ଏହାକୁ 1934ରେ କ୍ଲିଟନ ଓ ୱିଲିୟମ ଦେଖିଥିଲେ । ସେମାନେ NH_3ର $\lambda=1{\cdot}25\ cm\ (0{\cdot}8\ cm^{-1})$ ପରେ ଶୋଷଣ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ସେମାନେ ଗୋଟିଏ ସ୍ପଷ୍ଟ ଶୃଙ୍ଗ ଦେଖିପାରିଥିଲେ । ଅଧିକ ଭିନ୍ନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କରେ ତାରତମ୍ୟ ଫଳରେ ମିଳୁଥିବା ବ୍ୟୁତ୍କ୍ରମ ରେଖାରେ ଗୋଟିଏ ଆକାଙ୍କ୍ଷୀତ ସୂକ୍ଷ୍ମଗଠନ 1946ରେ ଡକ୍ଲୀ. ଇ. ଗୁଡ୍ ଦେଖିଥିଲେ । ସେ 6000MHz ବା 0·30cm^{-1} ପରିସର ମଧ୍ୟରେ 30ଟି ବ୍ୟୁତ୍କ୍ରମ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ରେଖା ଦେଖିଥିଲେ ।

ଶେଷରେ, ଏପରିକି ଗୋଟିଏ ସୂକ୍ଷ୍ମତମଗଠନ ଗୁଡ଼ ୍କେତେକ ରେଖାରେ ଦେଖି ପାରିଥିଲେ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ବହୁ କମ୍ ଗ୍ୟାସ ଚାପରେ (3·3) ରେଖାର ପ୍ରଧାନ ଶୃଙ୍ଗର ପ୍ରତି ପାଖେ ଦୁଇଟି କରି ନିକଟ ରେଖା ଦେଖାଯିବ । ଏମାନଙ୍କର ଅର୍ଦ୍ଧ ତୀବ୍ରତା ପ୍ରସ୍ଥ ହେଲା ପ୍ରାୟ $7\times10^5 Hz$ । ଏହି ସୂକ୍ଷ୍ମଗଠନ କଲେଜ୍ ଓ ଗୁଡ୍ ପୃଥକ୍ କରିଥିବା ଆଇସୋଟୋପକୁ ବ୍ୟବହାର କରି ଦେଖିଥିଲେ । ଏହା $N^{14}H_3$ର ରେଖା-

ସ୍ଥଳରେ ଦେଖାଯାଇ ନଥିଲା । ମାତ୍ର $N^{15}H_3$ର ରେଖାଗୁଡ଼ିକରେ ଦେଖାଯାଇନଥିଲା । ଏହି ବିଭାଜନ N^{14}ର ନିଉକ୍ଲିୟସର କୁଲମ୍ବ କ୍ଷେତ୍ରରୁ ସାମାନ୍ୟ ସ୍ଥାନୀୟ ବ୍ୟତିକ୍ରମ ଫଳରେ ମିଳିଥାଏ ବୋଲି ମନେ କରାଯାଏ । ଏ କ୍ଷେତ୍ର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଚତୁଃମେରୁ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶକ୍ଷମ । ଏହି ଆଘୂର୍ଣ୍ଣର ଶକ୍ତିସ୍ତରମାନଙ୍କ ଉପରେ ପ୍ରଭାବ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଘୂର୍ଣ୍ଣନର ଅନ୍ୟ ଘୂର୍ଣ୍ଣନମାନଙ୍କ ସହ ବିଭିନ୍ନ ସଂଯୋଜନା ଅବସ୍ଥା ପାଇଁ ବିଭିନ୍ନ ହୋଇଥାଏ । ପରେ ତାତ୍ତ୍ୱିକ ବିଶ୍ଳେଷଣ ଦ୍ୱାରା ଏହି ଧାରଣା ଠିକ୍ ବୋଲି ଜଣା ପଡ଼ିଥିଲା । କେବଳ ଯେଉଁ ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କ ପାଇଁ $I>\frac{1}{2}$, ସେମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଚତୁଃମେରୁ ବିଭାଜନ ଘଟିଥାଏ; N^{14} ପାଇଁ, $I=1$, N^{15} ପାଇଁ $I=\frac{1}{2}$ । ଯଦିଓ $I=\frac{1}{2}$ରେ ଦୁଇଟି ବିପରୀତ ଅବସ୍ଥାନ ସମ୍ଭବ, ଗୋଟିଏ ଚତୁଃମେରୁକୁ ମୁଣ୍ଡରୁ ମୁଣ୍ଡ ମିଳାଇ ରଖିଲେ ସେହିପରି ଦେଖାଯିବ ।

ପ୍ରଶ୍ନାବଳୀ

୧ । (କ) ଗୋଟିଏ ସରଳରୈଖିକ ସ୍ପ୍ରିଙ୍ଗର ସ୍ପ୍ରିଙ୍ଗ ଧ୍ରୁବ k ହେଲେ, ଦେଖାଅ ଯେ, ଏହାର ମୁଣ୍ଡ ଦୁଇଟିରେ m_1 ଓ m_2 ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବିଶିଷ୍ଟ ବନ୍ଧ ପର ବସ୍ତୁ ଯୋଗ କରାଯାଏ, ସ୍ପ୍ରିଙ୍ଗଟି $\nu = \left(\frac{1}{2\pi}\right)\sqrt{\frac{K}{m}}$ ଛନ୍ଦନରେ ଦୋଳନ କରିବ, ଏଠାରେ $m_r = m_1 m_2/(m_1+m_2)$ ସ୍ପ୍ରିଙ୍ଗଟିର ପରିଣାମୀ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ।

(ଖ) ଦେଖାଅ ଯେ, ବସ୍ତୁତ୍ୱ କେନ୍ଦ୍ର ଦେଇ ଓ କେନ୍ଦ୍ରମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟଦେଇ ଯାଇଥିବା ରେଖାକୁ ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ ଅକ୍ଷ ସାପେକ୍ଷେ ଏହି ଦୁଇଟି ବସ୍ତୁର ଜଡ଼ତ୍ୱ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ $m_r R^2$, ଏଠାରେ R ହେଲା ବସ୍ତୁତ୍ୱମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ବ୍ୟବଧାନ ।

୨ । ଟେବୁଲ 19·1ରେ ଦିଆଯାଇଥିବା ଫଳାଫଳରୁ H^+ ଆୟନକୁ ଓ ପ୍ରୋଟନ ଓ କ୍ଲୋରିନ ଆୟନର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଂଖ୍ୟା 35 ନେଇ H^+ ଓ cl^- ଆୟନମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ବ୍ୟବଧାନ ହିସାବ କର । ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ସାମ୍ୟାବସ୍ଥା ବ୍ୟବଧାନ ହିସାବରୁ 1·2746A° ବୋଲି ଜଣା ଅଛି । ତୁମର ଉତ୍ତର କିପରି ଅଧିକ ହେଉଅଛି ? j ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ $\Delta\bar{\nu}$ କାହିଁକି କମୁଅଛି ?

୩ । ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ଗ୍ୟାସର ରମନ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମରୁ ଦେଖାଯାଉଅଛି ଯେ, ମୂଳ ଦୋଳନ ସଂକ୍ରମଣ $\nu=0$ରୁ $\nu=1$ ପାଇଁ $\bar{\nu} = 4159·2\ cm^{-1}$ ହେଲେ ।

(କ) H^2ପାଇଁ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ "ସ୍ପ୍ରିଙ୍ଗ ଧ୍ରୁବ" $\left(\frac{\partial^2 E}{\partial R^2}\right)_{R_0}$ ବ୍ୟବହାର କର ।

(ଖ) D_2 ପାଇଁ ଅନୁରୂପ ସଂକ୍ରମଣରେ ତରଙ୍ଗ ସଂଖ୍ୟା ହିସାବ କର (ଗୋଟିଏ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ଅଣୁ ଦୁଇଟି ଡିଉଟେରିୟମ ପରମାଣୁର ମିଶ୍ରଣରେ ଗଠିତ । ଏହାର ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ମୂଲ୍ୟ ହେଲା 2990·3 cm^{-1} ।

ଉତ୍ତର : 520 N/m

୪ । Kcl ଅଣୁ ପାଇଁ ପ୍ରଥମ ପାଞ୍ଚ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସ୍ତରର ଜଡ଼ତ୍ୱ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ଓ ଶକ୍ତି ସବୁ ହିସାବ କର (cl ପରମାଣୁର $A = 35$ ବୋଲି ମନେକର) । ଏହି ସ୍ତରମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସଂକ୍ରମଣରୁ ଜାତ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ରେଖାମାନଙ୍କର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟଗୁଡ଼ିକ କେତେ କେତେ ?

୫ । $Rbcl$ ପାଇଁ ବିକର୍ଷଣ ଶକ୍ତି ପଦଟି ହିସାବ କର, ଦିଆ ଅଛି ଯେ ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ବ୍ୟବଧାନ $2{\cdot}89A^\circ$ ଓ ବିଚ୍ଛେଦନ ଶକ୍ତି ହେଉଛି $3{\cdot}96\ eV$ (ମନେକର ଯେ, ଭାଣ୍ଡରଓ୍ୱାଲ ଆକର୍ଷଣ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ମୋଟାମୋଟି ଭାବରେ ଦୋଳନ ଶୂନ୍ୟବିନ୍ଦୁ ଶକ୍ତି ସହିତ ସମାନ) ।

୬ । (କ) ମନେକର ଯେ, ଆୟନ ଅନ୍ତଃସ୍ଥଳ ବିକର୍ଷଣ ଶକ୍ତିର ରୂପ Kcl ପାଇଁ a/R^n, ଏଠାରେ a ଓ n ହେଲେ ସଂଖ୍ୟାମୂଳକ ଧ୍ରୁବ । ଅନୁ ୧୯.୩ର ଫଳାଫଳରୁ a ଓ nର ମୂଲ୍ୟ ନିରୂପଣ କର ।

(ଖ) (କ) ବିଭାଗରୁ ସ୍ଥୂଳ ମୂଲ୍ୟ ଗ୍ରହଣ କରି ଅଳ୍ପ ବିସ୍ଥାପନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଦୋଳନ ସ୍ପନ୍ଦନ ହିସାବ କର (ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ମୂଲ୍ୟ ହେଉଛି $8{\cdot}34 \times 10^{12} Hz$) ।

୭ । ପ୍ରମାଣ କର ଯେ ଗୋଟିଏ ଦ୍ୱିପାରମାଣବିକ ଅଣୁ ପାଇଁ $j+1$ରୁ jକୁ ସଂକ୍ରମଣ ଦ୍ୱାରା ଜାତ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ରେଖାର ସ୍ପନ୍ଦନ ଚିରନ୍ତନ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଅନୁସାରେ ଅଣୁର ଉପର ଓ ତଳ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସ୍ପନ୍ଦନମାନଙ୍କର ମଧ୍ୟବର୍ତ୍ତୀ ହେବ; ମନେକର ଯେ, j ଅବସ୍ଥାର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଗତିଜ ଶକ୍ତି ସମୀକରଣ (୧୯.୩) ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ ।

୮ । Hcl ବନ୍ଧନର ବଳଧ୍ରୁବ ହେଉଛି $470\ N/m$ । ଗୋଟିଏ Hcl ଅଣୁର $290^\circ k$ ରେ ଏହାର ନ୍ୟୂନତମ ଉତ୍ତେଜିତ ଦୋଳନ ଅବସ୍ଥାରେ ରହିବାର ସମ୍ଭାବନା କେତେ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

୯ । ଯଦି ଗୋଟିଏ ଉଦଜାନ ଅଣୁର ବଳ ଧ୍ରୁବ $573^\circ N/m$ ହୁଏ, ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତିର ପ୍ରସାରଣରେ କୌଣସି ଅନ୍‌ହାର୍ମୋନିକ୍ ପଦ ନାହିଁ ବୋଲି ଅନୁମାନ କରି ବିଚ୍ଛେଦନ ଶକ୍ତିର ଅନୁସାରୀ ଦୋଳନ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

୧୦ । ଉକ୍ତ ସମୀକରଣ (୧୯·୯)ରେ kକୁ ବିଯୁକ୍ତ ମୂଲ୍ୟ ଲକ୍ଷିତ କରନ୍ତୁ, ଫୋଟ୍ରାଟ୍ ଚାର୍ଟର P ଓ R ଦୁଇ ଶାଖା ଏକା ସ୍ଥାନରେ ପ୍ରକାଶିତ ହେବେ ବୋଲି ଦେଖାଅ ।

୧୧ । LiHର ରୋଟିଏ (7 ବସ୍ତୁତ୍ୱର ଲିଥିୟମ୍) ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ 1·59A° ବ୍ୟବଧାନରେ ଥାଏ ଓ ଏହାର ଦୋଳନ ସ୍ପନ୍ଦନର ତରଙ୍ଗସଂଖ୍ୟା 1406cm^{-1} ।

(କ) ପ୍ରଥମ ଉତ୍ତେଜିତ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସ୍ତର ଓ ଏହି ଶକ୍ତିର ପ୍ରଥମ ଦୋଳନ ଅବସ୍ଥାକୁ ଉତ୍ତେଜିତ କରିବାପାଇଁ ଦରକାର ହେଉଥିବା ଶକ୍ତି ପ୍ରତି ଅନୁପାତ ସ୍ଥିର କର ।

(ଖ) ଅଣୁର ଦୋଳନ ସ୍ପନ୍ଦନ ପାଇଁ ବଳ ଧ୍ରୁବ ହିସାବ କର ।

୧୨ । ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାର ଦୋଳନ ଅବସ୍ଥା ($v=0$ ରେ HCl ଅଣୁର ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥା ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଅବସ୍ଥା ($j=0$)ର $T=2$[illegible]$0°k$ରେ ପ୍ରଥମ ଉତ୍ତେଜିତ ସ୍ତର ($j=1$)ରେ ସଂଖ୍ୟା ପ୍ରତି ଅନୁପାତ ହିସାବ କର (HCl ଅଣୁର ଜଡ଼ତ୍ୱ ଆଦର୍ଶ ପାଇଁ ଦେଖ ଅନୁ୧୯·୭; ଲକ୍ଷ୍ୟ କର ଯେ ପ୍ରତି j ଅବସ୍ଥାର ପରିସଂଖ୍ୟାନ ଓଜନ ହେଲା $2j+1$) ।

ଉତ୍ତର : ପ୍ରାୟ 0·4 ।

୧୩ । (କ) ଦେଖାଅ ଯେ, ଦୋଳନ ଶକ୍ତି ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଯେତେବେଳେ $kT=h\nu$ ମୋଟାମୋଟି ଅଣୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ଅର୍ଦ୍ଧେକ ଉତ୍ତେଜିତ ଦୋଳନ ଅବସ୍ଥାରେ ରହୁଥାନ୍ତି ।

(ଖ) ସେହିପରି ଦେଖାଅ ଯେ, ଯେତେବେଳେ kT ନିମ୍ନତମ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଶକ୍ତି ସହିତ ସମାନ ହୁଏ, ମୋଟାମୋଟି ଅର୍ଦ୍ଧେକ ସଂଖ୍ୟକ ଅଣୁ ଘୂରୁଥାଆନ୍ତି (ଭୁଲିଯାଅ ନାହିଁ ଯେ, $2j+1$ ହେଲା ପରିସଂଖ୍ୟାନ ଓଜନ) ।

୧୪ (କ) H_2 ପାଇଁ kT କେଉଁ ତାପମାତ୍ରାରେ ପ୍ରଥମ ଉତ୍ତେଜିତ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଅବସ୍ଥାରେ ଶକ୍ତି ସହିତ ସମାନ ହେବ, ବାହାର କର ।

(ଖ) ଯେତେ H_2 ପାଇଁ ବଳଧ୍ରୁବ 573 N/m ହୁଏ, କେଉଁ ତାପମାତ୍ରାରେ kT ପ୍ରଥମ ଉତ୍ତେଜିତ ଦୋଳନ ସ୍ତରର ଶକ୍ତି ହେବ, ବାହାର କର ।

(ଗ) କେଉଁ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସ୍ତରରେ ହେ ଅଣୁଗୁଡ଼ିକୁ $v=1$ ଦୋଳନ ସ୍ତରକୁ ଉଠାଇବା ଶକ୍ତିର ନିକଟତମ ହେବ ?

(ଘ) ଯଦି $j=1$ ଓ $\nu=1$ ହୁଏ, ତେବେ ଗୋଟିଏ ଦୋଳନରେ H_2 ଅଣୁଟି କେତେଥର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ହିସାବ କର ।

୧୫ । 1929ରେ ମୋର୍ସ ଗୋଟିଏ ସମୀକରଣରେ ଦ୍ୱିପାରମାଣିକ ଅଣୁର ଶକ୍ତିକୁ ବିଚ୍ଛେଦନ ଶକ୍ତି (ବା ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତି) E_b, ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ବ୍ୟବଧାନ ଓ ଗୋଟିଏ ସ୍ୱେଚ୍ଛା ଧ୍ରୁବ aର ଅନ୍ତଃନ୍ୟୁକ୍ଲୀୟର ବ୍ୟବଧାନ Rର ଫଳନ ରୂପରେ ପ୍ରକାଶ କରିଥିଲେ । ମୋର୍ସଙ୍କ ଫଳନ ନିମ୍ନମତେ ଲେଖାଯାଇପାରେ,

$$E(R)=E_b\left[e^{-2a(R-R_0)}-2e^{-a(R-R_0)}\right]$$

(କ) ଦେଖାଅ ଯେ, ମୋର୍ସ ଫଳନରୁ

$E(R_0)=E_b$ ଓ $E(\infty)=0$ ମିଳୁଅଛି ।

(ଖ) ଦେଖାଅ ଯେ, ଅଳ୍ପ ବିସ୍ଥାପନ ପାଇଁ ଦୋଳନ ସ୍ପନ୍ଦନ ହେବ

$$\frac{a}{2\pi}\sqrt{\frac{aE_b}{m_r}}$$

ଏଠାରେ m_r ହେଲା ପରିଣାମୀ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ।

(ଗ) Na_2 ପାଇଁ ମୋର୍ସ ରେଖାର a ହିସାବ କର; ଦତ୍ତ ଅଛି ଯେ, $E_b=6.75$ eV, $R_0=3.07A^\circ$ ଓ ମୂଳ ଦୋଳନ ସଂକ୍ରମଣ ପାଇଁ ତରଙ୍ଗସଂଖ୍ୟା ହେଲା $157.8cm^{-1}$ ।

ଉତ୍ତର : (ଗ) $0.84A^{\circ-1}$

୧୬ । ମ୍ୟୁଅନସ୍ଥ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ଅଣୁ-ଆୟନର ($p-\bar{\mu}-p$) ଅବସ୍ଥିତି କଣାଅଛି । $\bar{\mu}$ ଗୋଟିଏ ବିନ୍ଦୁ ବସ୍ତୁତ୍ୱବାଦ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପରି କାର୍ଯ୍ୟକରେ ବୋଲି ଅନୁମାନ କରି; ଅନ୍ତଃପ୍ରୋଟନ ବ୍ୟବଧାନ ଓ ଅଣୁ-ଆୟନର ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତି ହିସାବ କର ।

ବିଂଶ ଅଧ୍ୟାୟ

କ୍ୱାଣ୍ଟମ ପରିସଂଖ୍ୟାନ ପ୍ରବେଶ

ଠିକ ଯେପରି ପାରମାଣବିକ ସ୍କେଲରେ ପ୍ରକୃତିର ବର୍ଣ୍ଣନା କରିବାକୁ ପୁରାତନ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ଅସମର୍ଥ ହେବାରୁ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀର ଆବଶ୍ୟକତା ହେଲା, ସେହିପରି ପୁରାତନ ମାକ୍ସୁଏଲ-ବୋଲ୍ଟଜ୍‌ମାନ ପରିସଂଖ୍ୟାନର ମୌଳିକ କଣିକାମାନଙ୍କ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ବହୁ ସମସ୍ୟା ସମାଧାନ କରିବାରେ ପରାଭବ ନୂତନ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ପ୍ରଣାଳୀର ଅଭ୍ୟୁଦୟର ପଥ ପରିଷ୍କାର କରିଦେଲା । ଏହି ଅଧ୍ୟାୟରେ ମ୍ୟାକ୍ସୁଏଲ-ବୋଲ୍ଟଜମାନ ପରିସଂଖ୍ୟାନର ମୂଳରେ ଥିବା ଗାଣିତିକ ତତ୍ତ୍ୱାଧାରର ପୁନରାଲୋଚନା କରିବା ଏବଂ ଯେଉଁ ପରିବର୍ତ୍ତନଗୁଡ଼ିକ ଫଳରେ ଅର୍ଦ୍ଧଘୂର୍ଣ୍ଣନବିଶିଷ୍ଟ ସମସ୍ତ କଣିକାଙ୍କ ପାଇଁ ଫର୍ମିଡିରାକ୍ ପରିସଂଖ୍ୟାନ ଏବଂ ଶୂନ୍ୟ ବା ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ବିଶିଷ୍ଟ କଣିକାମାନଙ୍କ ପାଇଁ ବୋସ ଆଇନଷ୍ଟାଇନ ପରିସଂଖ୍ୟାନ ଜନ୍ମ ଲଭିଲା, ସେଗୁଡ଼ିକର ସୂଚନା ଦେବା ।

୨୦·୧ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ବାରି ହେଉଥିବା ବସ୍ତୁମାନଙ୍କର ପରିସଂଖ୍ୟାନ :

ମନେକର ଆମର N ଟି ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ବାରି ହେଉଥିବା ବସ୍ତୁ ଅଛି ଏବଂ ଆମେ ସେଗୁଡ଼ିକୁ କ୍ରମରେ x ଅକ୍ଷରେ ସ୍ଥାପନ କରିବାକୁ ଇଚ୍ଛା କରୁଛୁ । ଏହା କେତେ ଉପାୟରେ କରି

ଯାଇପାରିବ ? ଯେଉଁ ବସ୍ତୁଟି ମୂଳବିନ୍ଦୁର ନିକଟତମ, ସେଇଟିକୁ ରଖିବାପାଇଁ Nଟି ସମ୍ଭାବ୍ୟ ଉପାୟ ରହିଅଛି, ତା ପାଖ ଜାଗାଟି ପାଇଁ N−1ଟି ଉପାୟ, ତୃତୀୟଟି ପାଇଁ N−2ଟି ଉପାୟ ଇତ୍ୟାଦି ରହିଅଛି । ସମ୍ଭାବ୍ୟ କ୍ରମର ସଂଖ୍ୟା ହେବ,

$$N(N-1)(N-2)\cdots\cdots(1)=N!$$

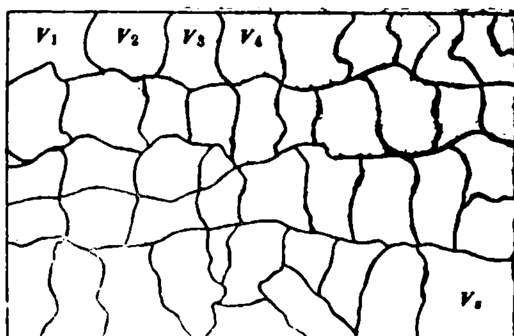
ଯଦି ଆମର Sଟି ବାକ୍ସ ଥାଏ । ଏଥିରୁ ପ୍ରଥମ ବାକ୍ସରେ n_1ଟି ··ଓ Sତମ ବାକ୍ସରେ n_sଟି ରଖିଲେ Nଟି ବସ୍ତୁକୁ ଏହି ବାକ୍ସମାନଙ୍କରେ କେତୋଟି ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ଉପାୟରେ ରଖାଯାଇ ପାରିବ (ଗୋଟିଏ ବାକ୍ସ ମଧ୍ୟରେ ବସ୍ତୁଗୁଡ଼ିକ କେଉଁ କ୍ରମରେ ରହିଲ ତାସହିତ ଆମର ଯଦି ସମ୍ବନ୍ଧ ନଥାଏ) ? ପ୍ରଥମ ବାକ୍ସଟି ପାଇଁ $[N(N-1)\cdots(N-n_1+1)]/n_1!$ ଟି ଉପାୟ, ଏଠାରେ ଦ୍ୱିତୀୟ ବାକ୍ସ ମଧ୍ୟରେ n_1ଟି ବସ୍ତୁ କେତୋଟି ଉପାୟରେ ସଜ୍ଜାଯାଇପାରିବ ବୁଝାଉଅଛି । ସେହିପରି ଦ୍ୱିତୀୟ ବାକ୍ସଟି ପାଇଁ ଏହାପରେ n_2ଟି ବସ୍ତୁ $[(N-n_1)(N-n_1-1)\cdots(N-n_1-n_2+1)]/n_2!$ ଟି ଉପାୟରେ ରଖାଯାଇପାରିବ ଇତ୍ୟାଦି । ସମସ୍ତ S ବାକ୍ସ ପାଇଁ ଭିନ୍ନ ଉପାୟର ମୋଟ ସଂଖ୍ୟା ହେବ,

$$\frac{N(N-1)\cdots(N-n_1+1)}{n_1!}$$

$$\frac{(N-n_1)\cdots\cdots(N-n_1-n_2+1)}{n_2!}$$

$$\frac{n_s(n_s-1)\cdots\cdots1}{n_s!}=\frac{N!}{n_1!\,n_2!\cdots n_s!} \qquad (୨୦·୧)$$

ଧରନ୍ତୁ Vର ଗୋଟିଏ ଶକ୍ତି ବାକ୍ସ ନିଅ । ଏହାକୁ ମନଇଚ୍ଛା S ସୂକ୍ଷ୍ମଘରରେ ଭାଗକର (ଚିତ୍ର ୨୦·୧) । Nଟି ଆଦର୍ଶ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ରଭାବେ ବାର ହେଉଥିବା କଣ୍ଡିକା "ଅଣୁ" ଭିତରେ ଥାଆନ୍ତୁ । ଏଠାରେ ଏବଂ ବଣ୍ଟନ ନିୟମ ଗଢ଼ିବାର ସମସ୍ତ ସ୍ତରରେ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଅଣୁ ପରସ୍ପର ସହିତ ଅତି ଦୁର୍ବଳ ଭାବରେ କାର୍ଯ୍ୟ କରୁଛନ୍ତି ବୋଲି ଆମେ ଅନୁମାନ କରୁଛୁ, ତେଣୁ କେବଳ ଆଘାତ ପାଇବାବେଳେ ସେମାନେ ପରସ୍ପର ଉପରେ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ବଳ ପ୍ରୟୋଗ କରିଥାନ୍ତି । ତେଣୁ ଆମେ ମୂଳତଃ ଗୋଟିଏ ଆଦର୍ଶ ଗ୍ୟାସ ବିଷୟରେ ଆଲୋଚନା କରୁଅଛୁ । ଯେକୌଣସି ମୁହୂର୍ତ୍ତରେ କୌଣସି ଗୋଟିଏ ଅଣୁ i ତମ ସୂକ୍ଷ୍ମଘର ମଧ୍ୟରେ



[ଚିତ୍ର ୧]

ଥିବାର ସମ୍ଭାବନା ହେଲ V_i/V, କୌଣସି ବସ୍ତୁ ହୋଇଥିବା ଯୋଡ଼ ଅଣୁ ଏଥି ମଧ୍ୟରେ ଥିବାର ସମ୍ଭାବନା ହେଲ $(V_i/V)^2$ ଏବଂ କୌଣସି ଗଣ୍ଡ n_i ଅଣୁମାଳା ଏଥି ମଧ୍ୟରେ ଥିବାର ସମ୍ଭାବନା ହେଲ $(V_i/V)^{n_i}$ । ସେଥିପାଇଁ କୌଣସି ମୁହୂର୍ତ୍ତରେ n_1 ଅଣୁ v_1ରେ, n_2 ଅଣୁ v_2ରେ$\cdots$, ଓ n_s ଅଣୁ v_sରେ ରହିବାର ସମ୍ଭାବନା ହେଲ,

$$P(n_1, n_2, \cdots n_s) = \frac{N!}{n_1!\, n_2! \cdots n_s!}\left(\frac{V_1}{V}\right)^{n_1}\left(\frac{V_2}{V}\right)^{n_2}\cdots\left(\frac{V_s}{V}\right)^{n_s} = N! \prod_{i=1}^{s}\frac{1}{n_i!}\left(\frac{V_i}{V}\right)^{n_i} \qquad (୨୦·୨)$$

n_1, n_2 ପ୍ରଭୃତି ବିଭିନ୍ନ ସେହି ମୂଲ୍ୟସବୁ ନେଇ $\Sigma n_i = N$ ସର୍ତ୍ତର ବାଧ୍ୟତାମ ନକରି ଯଦି ଆମେ ସମସ୍ତ ସାମ୍ଭାବ୍ୟ ସେହି ଉପରେ ଯୋଗଫଳ P ସ୍ଥିର କରୁ, ଆମେ ଅବଶ୍ୟ 1କୁ ଫଳ ସ୍ୱରୂପରେ ପାଇବା, କାରଣ ସମସ୍ତ ସାମ୍ଭାବ୍ୟ ବଣ୍ଟନର ସମ୍ଭାବନା ଉପରେ ଯୋଗଫଳ ନେଉଥାଉ । ପ୍ରକୃତରେ ବହୁପଦ ଉପପାଦ୍ୟ ଅନୁସାରେ,

$$\left(\frac{V_1}{V}+\frac{V_2}{V}+\frac{V_3}{V}+\cdots+\frac{V_s}{V}\right)^N = \sum_{\substack{n_1!\cdots n_s \\ \text{ମୂଲ୍ୟମାନଙ୍କର} \\ \text{ସମସ୍ତ ସେହି} \\ \text{ସାମ୍ଭାବ୍ୟ}}} \frac{N!}{n_1!\cdots n_s!}\left(\frac{V_1}{V}\right)^{n_1}\left(\frac{V_s}{V}\right)^{n_s}\cdots = 1 \qquad (୨୦·୩)$$

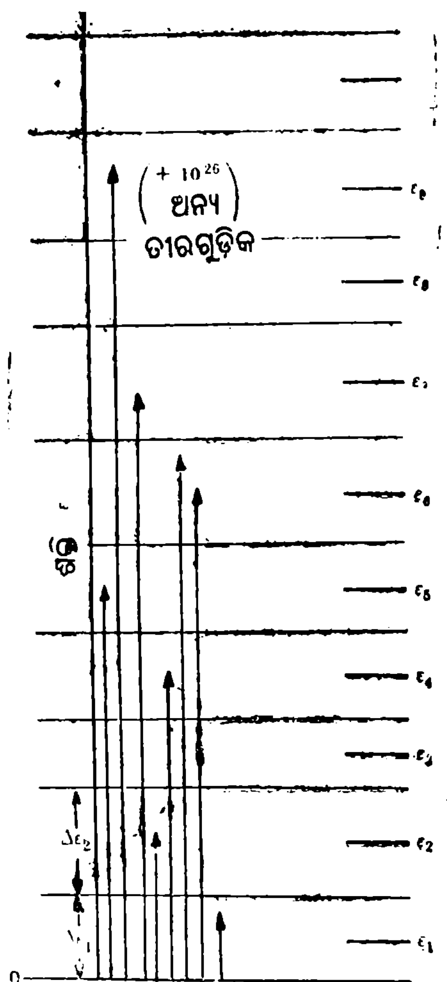
(ଯଦି $n_i = 0$, ଏହା ଲକ୍ଷ୍ୟ କରାଯାଇଅଛି; $0 ! = 1$ ନେଲେ ଏହି ଲବ୍ଧ ବକ୍ତୃକୁ ନିଆଯାଇପାରିବ ।)

Nଟି ସ୍ୱତନ୍ତ୍ରରେ ଚାପ ହୋଇଥିବା, କିନ୍ତୁ ଅନ୍ୟଥା ସର୍ବସମ ଏକ ପରମାଣୁ ବିଶିଷ୍ଟ ଅଣୁକୁ ଦୃଷ୍ଟାନ୍ତ ଗୋଟିଏ ବନ୍ଦ, ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣରୂପେ ପ୍ରତିଫଳନକାରୀ ଆଧାର ମଧ୍ୟରୁ ଦିଆଯାଉ । ଯଦି ଏମାନଙ୍କର ଗତିବେଗର କୌଣସି ସ୍ଥିର ଅନୁସ୍ମିତ ବଣ୍ଟନ ଥାଏ, ଏମାନଙ୍କର ସ୍ଥିତି ଓ ଆଘାତର ଧର୍ମ ଜଣା ଥିଲେ ନିଉଟନ ଅନୁସାରେ ପ୍ରଚଳିତ ଯାନ୍ତ୍ରିକର ନିୟମ ବ୍ୟବହାର କରି ପ୍ରତ୍ୟେକ ଅଣୁର ଭବିଷ୍ୟତ ଗତି ବୁଝାଯାଇପାରିବ । ତେବେ, ପ୍ରକୃତ ଅଣୁ ଓ ଆଧାର ନେଇ ପରୀକ୍ଷା କଲେ ଦେଖାଯାଉଛି ଯେ ଭିତରେ ଫିଟିବାର ପ୍ରଣାଳୀ ଉପରେ ନିର୍ଭର ନକରି, ଅଳ୍ପ ସମୟ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରାରମ୍ଭିକ ଅବସ୍ଥା ସ୍ୱତଃ ଭୁଲିଯାଉଛି । ଗୋଟିଏ ବଡ଼ N ପାଇଁ ଅଧିକ ଅତିଶୀଘ୍ର ଏକ ସାମ୍ୟ ଅବସ୍ଥା ଓ ଏହା ଚିରନ୍ତନ ଉତ୍ପାଦନ କରି ଦେଉଛି । ଏହା ଫିଟିବାବେଳେ ଥିବା ବଣ୍ଟନ ପ୍ରକ୍ରିୟାମୁକ୍ତ । ଏହି ସାମ୍ୟାବସ୍ଥା ବନ୍ଦ ଥାଉଥିବା N ସଂଖ୍ୟକ ଅଣୁ, ମୋଟ ଶକ୍ତି E ଓ ଘନତ୍ୱ V ପାଇଁ ସର୍ବାଧିକ ସାମ୍ଭାବ୍ୟ ଅବସ୍ଥା । କୌଣସି ସସୀମ ସମୟ ବ୍ୟବଧାନରେ ବ୍ୟାପକ କୌଣସି ପ୍ରଚଳର ପ୍ରତ୍ୟେକ ପରିମାପ ଯେ ପ୍ରଚଳର ବ୍ୟବଧାନରେ ସମସ୍ତ ଗଡ଼ ମୂଲ୍ୟ ସମ୍ଭାବନା ନିୟମ ଅନୁସାରେ ମିଳୁଥିଲା ମୂଲ୍ୟ ସହ ମିଳିଯିବ ।

ଶକ୍ତିର ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାର ବଣ୍ଟନ ପାଇବାପାଇଁ ଆମେ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ସ୍ଥାନରେ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଅଣୁର ଶକ୍ତିକୁ ଗୋଟିଏ ଗାଣିତିକ ସାହାଯ୍ୟରେ ପ୍ରକାଶ କରିବାର ଅନୁମାନ କରୁ । ଏହି ଉଚ୍ଚ ମୂଲ୍ୟରେ ରହି ଓ ଏହାର ଦୈର୍ଘ୍ୟ ଶକ୍ତି ପରିମାଣକୁ ଅନୁପାତ ଦେଇ (ଚିତ୍ର ୨୦.୨) । ଏହି ଶକ୍ତିସ୍ଥାନକୁ ଆମେ ΔE_1, $\Delta E_2 \ldots$ ଏହିପରି ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ଆକାରରେ ଲଗାଲଗି S ସଂଖ୍ୟକ କୋଷରେ ବିଭକ୍ତ କରିବା । ଏଥିରୁ ଯେଉଁ ଭାଗଗୁଡ଼ିକର ଅନ୍ତର୍ଭୁକ୍ତ ପ୍ରଥମ କୋଷରେ ରହିବ, ସେଗୁଡ଼ିକର ହାରାହାରି ଶକ୍ତି E_1 ଓ ଏହିପରି ଅନ୍ୟସବୁ ଶକ୍ତି ଚିହ୍ନିତ ହେବ । n_1 ସଂଖ୍ୟକ ଭାଗ ପ୍ରଥମ କୋଷରେ ଓ n_i ସଂଖ୍ୟକ ଭାଗ i ତମ କୋଷରେ ଶେଷ ହୁଅନ୍ତି ।

ଯଦି ଅଣୁମାନଙ୍କର ସାମଗ୍ରିକ ଶକ୍ତି ହେଉଛି ସ୍ଥିର ଓ E ସେମାନଙ୍କର ମୋଟ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ବୁଝାଏ, ଏହା ସ୍ପଷ୍ଟ ଯେ, n_i ସଂଖ୍ୟାଗୁଡ଼ିକ ନିମ୍ନଲିଖିତ ଦୁଇଟି ସମୀକରଣକୁ ସିଦ୍ଧ କରିବେ,

$$\sum_{i=1}^{s} n_i = N = n_1 + n_2 + n_3 + n_4 + \cdots\cdots + n_s \qquad (୨\cdot୪)$$



[ଚିତ୍ର ୨•୨ ଗୋଟିଏ ଏକ ବର୍ଣ୍ଣିତ ଶକ୍ତି ସ୍ଥାନରେ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଅଣୁର ଶକ୍ତି ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ତୀର ସାହାଯ୍ୟରେ ଏକ ସମୟରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇଛି]

$$\sum_{i=1}^{s} n_i \in_i = E = n_1 \in_1 + n_2 \in_2 + \cdots\cdots + n_s \in_s \qquad (୨୦.୫)$$

ଏହିଠାରେ ପ୍ରଚଳନ ହିସାବ ପ୍ରଣାଳୀରେ ଆମେ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଯାନ୍ତ୍ରିକର ଗୋଟିଏ ଫଳ ଗ୍ରହଣ କରିବା । ଏହା ବିଶେଷ ଦରକାରୀ ହେବ । ବିଶେଷ ଭାବରେ, ଆମେ ଗ୍ରହଣ କରିବା ଯେ (୧) ଗୋଟିଏ ବଦ୍ଧ ମଣ୍ଡଳର ଅନୁମତ ଶକ୍ତି ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ବିଚ୍ଛିନ୍ନ (୨) ଯଦି କୌଣସି ଅପକ୍ରମଣ ଥାଏ, ତେବେ କୌଣସି ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ର ପ୍ରୟୋଗ କରି ବା ଅନ୍ୟ କୌଣସି ଉପାୟରେ ତାହା ଦୂର କରାଯାଇପାରିବ । ତେଣୁ ଅପକ୍ରମଣୀ ବିଚ୍ଛିନ୍ନ ଶକ୍ତିସ୍ତର-ଗୁଡ଼ିକର ଏକ ମଣ୍ଡଳ ଅନୁମାନ କରି, ଆମେ 1 କୋଷରେ ଅନୁମତ ଶକ୍ତିସ୍ତରଗୁଡ଼ିକର ସଂଖ୍ୟା g_1 ଦ୍ୱାରା ଓ i ତମ କୋଷରେ ଅନୁମତ ଶକ୍ତିସ୍ତରଗୁଡ଼ିକର ସଂଖ୍ୟା g_i ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ କରିବା । ତେଣୁ ସାମ୍ଭବ୍ୟ ଶକ୍ତିମାନଙ୍କର ମୋଟ ସଂଖ୍ୟା ହେବ,

$$G = g_1 + g_2 + \cdots\cdots\cdots\cdots + g_s = \sum_{i=1}^{s} g_i \qquad (୨୦.୬)$$

ଯଦି କୌଣସି ଅପବର୍ଜନ ନିୟମ ବା ଶକ୍ତି ସଂରକ୍ଷଣ ସହ ସଂପୃକ୍ତ ଧ୍ରୁବ ନଥାନ୍ତା, ପ୍ରତ୍ୟେକ ଅଣୁ G ଅବସ୍ଥାରୁ କୌଣସି ଏକ ଅବସ୍ଥାରେ ରହନ୍ତା । ତେଣୁ Nଟି ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ବାଗ ହୋଇଥିବା ଅଣୁ ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ G^N ଉପାୟରେ ବଣ୍ଟାଯାଇ ପାରନ୍ତା । ଏ ପ୍ରତ୍ୟେକ ସମ୍ଭାବନା ମଣ୍ଡଳଟିର ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ସୂକ୍ଷ୍ମାବସ୍ଥା ବୁଝାଉଅଛି । ତେବେ, ଯଦି ଅଣୁଗୁଡ଼ିକ ସମସ୍ତେ ସମାନ ହୁଅନ୍ତି, କେଉଁ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଅଣୁଗୁଡ଼ିକ ଶକ୍ତି ଲାଭ କରି i କୋଷରେ ରହିଲେ, ତାହା ଆମର ବୁଝିବା ଦରକାର ନାହିଁ, କେବଳ ସେଠାରେ କେତୋଟି ରହିଲେ ଜାଣିଲେ ହେଲା । n_1 ସଂଖ୍ୟକ ଅଣୁ କୋଷରେ n_2 କୋଷ 2ରେ ଓ n_i କୋଷ iରେ ଅଛି ବୋଲି ଗୋଟିଏ ଉକ୍ତ ମଣ୍ଡଳଟିର ଗୋଟିଏ ସ୍ଥୂଳ ଅବସ୍ଥା ବୁଝାଏ । ଯଦି ଆମେ ବର୍ତ୍ତମାନ ଅନୁମାନ କରିବା ଯେ ପ୍ରତ୍ୟେକ ସୂକ୍ଷ୍ମ ଅବସ୍ଥା ଘଟିବାର ପ୍ରାରମ୍ଭିକ ସମ୍ଭାବନା ସମାନ, ପ୍ରତ୍ୟେକ g_i ସମୀକରଣ (୨୦.୨) ଓ (୨୦.୩)ରେ V_iର କାର୍ଯ୍ୟ କରିବ, ଏଠାରେ Gର ଅନୁରୂପ ହେବ V । ତେଣୁ ପ୍ରତ୍ୟେକ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ସ୍ଥୂଳ ଅବସ୍ଥାର ବଣ୍ଟନର ସମ୍ଭାବନା ହେବ,

$$P(n_1, \cdots n_s) = \frac{N!}{n_1! \cdots n_s!}\left(\frac{g}{G}\right)^{n_1} \cdots \left(\frac{g_s}{G}\right)^{n_s}$$

$$= \frac{N!}{G^N} \prod_{i=1}^{s} \frac{g_i^{n_i}}{n_i!} \qquad (୨୦.୭)$$

ମନମୁଖୀଭାବରେ ବାଛିବା ଅବସ୍ଥା ନେଲେ ତା'ର ଅଣୁଟିର i ତମ କୋଷରେ ରହିବାର ସମ୍ଭାବନା ହେବ g_i/G ବୋଲି ଜଣାଯାଏ, ତେବେ ଅବସ୍ଥାନ ଓ ଗତି ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କର ବିମିଶ୍ରଣର ସମୀକରଣ (୨୦.୨) ଏବେ ମଧ୍ୟ ଲବ୍ଧ ହୋଇପାରିବ ।

ବୋଲ୍ଜମାନ ପ୍ରସ୍ତାବ ଦେଇଥିଲେ ଯେ କୌଣସି ଗ୍ୟାସରେ ଅଣୁମାନଙ୍କର ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ବେଗର ବଣ୍ଟନ ଏପରି ହେବ, ଯେତେବେଳେ କି P $(n_1 \cdots n_s)$ ସର୍ବାଧିକ ହେବ; ଏଥିରେ ଅବଶ୍ୟ ସମୀକରଣ (୨୦.୪) ଓ (୨୦.୫) ଯଥାକ୍ରମେ ଅଣୁମାନଙ୍କର ସଂରକ୍ଷଣ ଓ ଶକ୍ତିର ସଂରକ୍ଷଣ ସର୍ତ୍ତ ଦୁଇଟି ପୂରଣ ହୋଇଥିବ । P ସର୍ବାଧିକ ହେବାବେଳେ lnP ସର୍ବାଧିକ ହେବ, ତେଣୁ ସେ lnP ନେଇ ହିସାବ କରିବାକୁ ସୁବିଧା ମନେ କଲେ । ବୋଲ୍ଜମାନ ପ୍ରମାଣ କଲେ ଯେ, ଏଣ୍ଟ୍ରପି ଓ ସମ୍ଭାବନା ମଧ୍ୟରେ ଲୋଗାରିଦମିକ୍ ସମ୍ବନ୍ଧ ରହିଅଛି, ପରେ ପ୍ଲାଙ୍କ ପ୍ରସ୍ତାବ ଦେଲେ ଯେ ଏଣ୍ଟ୍ରପି Sକୁ $S = K lnP$ ରୂପରେ ଲେଖାଯାଇପାରିବ, ଏଠାରେ K ଗୋଟିଏ ଧ୍ରୁବ । ତେଣୁ, ତାପଗତିକୀର ଆବଶ୍ୟକତା ଅନୁସାରେ, ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ଏଣ୍ଟ୍ରପି ସର୍ବାଧିକ ହେବ । ଏହା ସ୍ପଷ୍ଟ ଯେ,

$$ln\,P = ln\,N! - N\,ln\,G - ln\,n_1!$$

$$\cdots\cdots\cdots ln\,n_s! + n_1\,ln g_1 + \cdots\cdots + n_s\,ln\,n_s \qquad (୨୦.୮)$$

ଷ୍ଟାର୍ଲିଂ ଉପପାଦ୍ୟ ଅନୁସାରେ, ଯେତେବେଳେ N ବହୁତ ବଡ଼ ln N ! = N $ln\,N - N + ln\sqrt{2\pi}N + 1\frac{1}{N}$ କୋଟୀର ପଦ ସବୁ (୨୦.୯)

ପଦ 1 ତୁଳନାରେ ସବୁ n ବଡ଼ ହୁଏ, ଅମେ ଷ୍ଟାର୍ଲିଙ୍ଗ ସୂତ୍ରରୁ କେବଳ ପ୍ରଥମ ଦୁଇଟି ପଦ ନେବା ଓ ଲେଖିବା $ln\,\mathbf{P} = N\,ln\,N - N - N\,ln\,G + n_1\,ln\,g_1/n_1 + n_1 + \cdots\cdots + n_s\,ln\,g_s/n_s + n_s$ (୨୦.୧୦)

ସମୀକରଣ (୨୦'୪) ଓ (୨୦'୫)ର ସର୍ତ୍ତଗୁଡ଼ିକର ସୀମା ମଧ୍ୟରେ lnPର ସର୍ବାଧିକ ମୂଲ୍ୟ ବାହାର କରିବାପାଇଁ ଆମେ ଲାଗ୍ରାଞ୍ଜଙ୍କ ଅନିର୍ଣ୍ଣିତ ଗୁଣକ ପ୍ରଣାଳୀ ବ୍ୟବହାର କରିବା । α ଓ β ଏପରିକି ଅନିର୍ଣ୍ଣିତ ଦୁଇଟି ଧ୍ରୁବ ହୁଅନ୍ତୁ (ଲାଗ୍ରାଞ୍ଜ ଗୁଣକଦ୍ୱୟ) । ସମୀକରଣ (୨୦'୪) ଓ (୨୦'୫)

$$\alpha\,[(\sum_{i=1}^{s} n_i) - N = 0 \text{ ଓ } \beta\,[(\sum_{i=1}^{s} n_i \in_i) - E] = 0$$

ଆକାରରେ ଲେଖାଯାଇପାରିବ । ଏଗୁଡ଼ିକୁ ସମୀକରଣ (୨୦'୮)ର ସହିତ ଯୋଗ କଲେ,

$$ln\ P = N\,ln\,N - N - N\,ln\,G + \sum_{i=1}^{s} n_i\,ln\,g_i/n_i + \sum_{i=1}^{s} n_i$$

$$- \alpha(\sum_{i=1}^{s} n_i - N) \quad \beta(\sum_{i=1}^{s} \in_i - E) \qquad (୨୦\text{'}୧୦)$$

ମିଳିବ, ଯାହା ଏବଂ କେବଳ ଯାହା ସମୀକରଣ (୨୦'୪), (୨୦'୫) ଓ ୨୦'୮) ଗୁଡ଼ିକ ସିଦ୍ଧ ହୁଅନ୍ତୁ ।

$ln\,P$ ସର୍ବାଧିକ ହେବାପାଇଁ ପ୍ରତି n_i ପାଇଁ

$$\frac{\partial ln\,P}{\partial n_i} = ln\frac{g_i}{n_i^*} - 1 + 1 - \alpha - \beta \in_i = 0 \qquad (୨୦\text{'}୧୧)$$

ହେବା ଦରକାର, ଯେଉଁଠାରେ n_i^* ହେଉଛି P ସର୍ବାଧିକ ହେବାପାଇଁ n_iର ମୂଲ୍ୟ ବଣ୍ଟନ ସଂଖ୍ୟା n_1^*, n_2^* ଗୁଡ଼ିକରେ ବହୁ ପ୍ରାଧାନ୍ୟ ହେଉଛି, କାରଣ ସେମାନଙ୍କ ପାଇଁ ସ୍ଥିତିର ବାର ହେଉଥିବା ଅନୁକୂଳ ଅବସ୍ଥା ସଂଖ୍ୟା n_iମାନଙ୍କର ଅନ୍ୟ ଯେକୌଣସି ସମ୍ଭବ୍ୟ ସେଟ୍ ପାଇଁ ଏ ସଂଖ୍ୟା ଅପେକ୍ଷା ବହୁ ଯେତେ ଅଧିକ । ପ୍ରକୃତରେ, ଯେତେବେଳେ n_iଗୁଡ଼ିକ ବାସ୍ତବରେ ସମୀକରଣ (୨୦'୧୧)କୁ ସିଦ୍ଧ କରେ, ସେଗୁଡ଼ିକ ସହିତ ସମାନ ହୁଅନ୍ତି, ତାହାହିଁ ସେହି ଅବସ୍ଥାରେ ଦେଖାଯିବାର ସମ୍ଭାବନା ବହୁ ସମୟରେ ଅଧିକ । ଅନ୍ୟ

ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକର ସମ୍ଭାବନା ଏତେ କମ୍ ଯେ ପରମାଣର ସମସ୍ତ ସମୟ ପାଇଁ ଏହା ରହି ପାରିବନାହିଁ । n_i^*/g_i ପାଇଁ ସମୀକରଣ (୨୦·୧୧)ର ସମାଧାନରୁ ମିଳିବ,

$$f_{MB}(\epsilon_i) = \frac{n_i^*}{g_i} = \frac{1}{e^{\alpha} e^{\beta\epsilon_i}} = e^{-\alpha-\beta\epsilon_i} \qquad (୨୦.୧୨)$$

ସମୀକରଣ (୪·୧୯) ଅନୁସାରେ, ଅଣୁମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା n_i ଫେଜ୍‌ସ୍ପେସ୍‌ର ଗୋଟିଏ ସ୍ଲେଟ ଘନ $g_i = dp_x\, dp_y\, dp_z\, dx\, dy\, dz$ ମଧ୍ୟରେ

$$n_i = g_i \left[\frac{N}{(2\pi mkT)^{\frac{3}{2}} CV}\right] e^{-\epsilon_i/kT} \qquad (୨୦·୧୨କ)$$

ଦ୍ଵାରା ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରିବ । ଏହା ·ସମୀକରଣ (୨୦·୧୨)– ଏଥିରେ $\beta = 1/kT$ ଓ $e^{-\alpha}$ =ବନ୍ଧନୀ ମଧ୍ୟସ୍ଥ ଧ୍ରୁବ । αBβର ଏହିପରି ମୂଲ୍ୟ ଲେଖିବା ଠିକ୍ ହୋଇଛି ବୋଲି ସମୀକରଣ (୨୦·୪) ଓ (୨୦·୫)କୁ ବ୍ୟବହାର କରି ଧ୍ରୁବ α ଓ βର ମୂଲ୍ୟ ନିର୍ଦ୍ଧାରଣ କଲେ ଜଣାଯିବ । ତେଣୁ ସ୍ଵତନ୍ତ୍ରଭାବେ ବାଣ୍ଟ ହେଉଥିବା କଣିକାମାନଙ୍କ ପାଇଁ ପରିସଂଖ୍ୟାନରୁ ମାକ୍ସୁଏଲ-ବୋଲ୍‌ଜମ୍ୟାନ ($M-B$) ବଣ୍ଟନର ଜନ୍ମ ।

ପୂର୍ବୋକ୍ତ ପରିସଂଖ୍ୟାନ ଯାନ୍ତ୍ରିକରେ ଏହି ଧାରଣାଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରକୃତ ଗ୍ୟାସମାନଙ୍କ ପାଇଁ ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇଥାଏ, ସତେ ଯେପରି ଏହି ଅଣୁଗୁଡ଼ିକ ପରସ୍ପରଠାରୁ ପୃଥକ ଅର୍ଥାତ ସ୍ଵତନ୍ତ୍ରଭାବେ ବାଣ୍ଟ ହେବେ । ଏଥିରୁ ମିଳୁଥିବା $M-B$ ବଣ୍ଟନ ଫଳନ ବହୁ କ୍ଷେତ୍ରରେ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇପାରିବ; କିନ୍ତୁ ଏହାର ସଫଳତା ସତ୍ତ୍ୱେ ପରମାଣୁ ଓ କଠିନ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କରେ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ସମ୍ପୃକ୍ତ ଥିବା ବହୁ ସମସ୍ୟାର ସନ୍ତୋଷଜନକ ସମାଧାନ ଦେବାକୁ ଅସମର୍ଥ ହେଲା ।

20·2 ଅପୃଥକ ଓ ବର୍ଜନଶୀଳ କଣିକା :

$M-B$ ବଣ୍ଟନ ଫଳନ ଉପରେ ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ କଲାବେଳେ, 'ଅଣୁଗୁଡ଼ିକ ପରସ୍ପର-ଠାରୁ ପୃଥକ ବୋଲି ଅନୁମାନ କରାଯାଇଅଛି । ଯେତେବେଳେ ଦୁଇଟି ବଲ୍‌ଆଡ଼୍ ବଲ

ପରସ୍ପରକୁ ଆଘାତ କରନ୍ତି, ଆମେ ପ୍ରତ୍ୟେକ ବଲ୍‌ର ଓ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଅବସ୍ଥାର ଦ୍ୱିଧାଶୂନ୍ୟ ଭାବରେ ଅନୁଗମନ କରିପାରୁ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, A ବଲ୍‌ଟି $-x$ ଦିଗରୁ ଆସିଲା, B ବଲ୍‌ଟିକୁ ଆଘାତ କଲା ଏବଂ ତାପରେ y ଦିଗରେ ଚାଲିଗଲା । ତେବେ, ଯେତେବେଳେ ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ (ବା ପ୍ରୋଟନ ବା ଏକାପରି ଦୁଇଟି ପରମାଣୁ) ପରସ୍ପରକୁ ଆଘାତ କରନ୍ତି, ସାଧାରଣ ଭାବରେ କହିଲେ, ଆମେ ପ୍ରତି ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନର ପଥ ଅନୁସରଣ କରି ପାରିବା ନାହିଁ । ଯଦି ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ A ଟି $-x$ ଦିଗରୁ ଆସେ ଏବଂ B ସହିତ ସଂଘର୍ଷ ହେବା ପରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ y ଦିଗରେ ଚାଲିଯାଏ, ସେ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଟି A ନା B ଆମେ କହି ପାରିବା ନାହିଁ । ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ୍‌ଗୁଡ଼ିକ ପରସ୍ପରଠାରୁ ବାରି ହୋଇପାରିବେ ନାହିଁ । ପ୍ରତି ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ସହିତ ସମ୍ପୃକ୍ତ ଗୋଟିଏ ତରଙ୍ଗ ପ୍ୟାକେଟ୍ ରହିଅଛି । ଯଦି ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନର ତରଙ୍ଗ ପ୍ୟାକେଟରୁ ଗୋଟିଏ ଉପରେ ଅନ୍ୟଟିର କିଛି ଅଂଶ ପଡ଼ିଯାଏ, ଆମେ ଆଉ କେଉଁ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଟି କିଏ କହି ପାରିବା ନାହିଁ । ତରଙ୍ଗଫଳନ-ଗୁଡ଼ିକ ପରସ୍ପର ଉପରେ ଦୃଢ଼ଭାବରେ ପଡ଼ିଲେ କ'ଣ ହେବ, ତାହା ଅନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ନିୟମ ଭିତରେ ଲୁଚି ଯାଉଅଛି । ବିଲିଆର୍ଡ଼ ବଲ୍‌ଗୁଡ଼ିକ ପରସ୍ପରଠାରୁ ପୃଥକ୍, କିନ୍ତୁ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଓ ପ୍ରକୃତିରେ ସମସ୍ତ ଏକପ୍ରକାରର ମୌଳିକ କଣିକା ପରସ୍ପରଠାରୁ ଅପୃଥକ ।

ଆଉ ମଧ୍ୟ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ୍ ପାଉଲିଙ୍କ ଅପବର୍ଜନ ନିୟମ ପାଳନ କରେ (ଅର୍ଦ୍ଧ ପୂର୍ଣ୍ଣ ସଂଖ୍ୟକ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ବିଶିଷ୍ଟ ସମସ୍ତ କଣିକା ଏ ନିୟମ ପାଳନ କରନ୍ତି); ଅନ୍ୟ ପକ୍ଷରେ, ଫୋଟନ, ପାଇନ ଓ ଶୂନ୍ୟ ବା ଉଚ୍ଚତର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ବିଶିଷ୍ଟ ଅନ୍ୟ କଣିକାମାନେ ଏହା ପାଳନ କରନ୍ତିନାହିଁ । ଯେଉଁ କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ଅପବର୍ଜନ ନିୟମ ପାଳନ କରନ୍ତି, ସେଗୁଡ଼ିକୁ ଆମେ ବର୍ଜନଶୀଳ ଏବଂ ଅନ୍ୟମାନଙ୍କୁ ଅଣବର୍ଜନଶୀଳ କହୁଥାଉ । କିପରି ପୃଥକଭାବେ ବାରି ନହେବା ଓ ବର୍ଜନଶୀଳତା କଣିକାମାନଙ୍କର ପରିସଂଖ୍ୟାନକୁ ପ୍ରଭାବିତ କରେ, ତାହା ଜାଣିବାପାଇଁ ଦୁଇଟି କଣିକା ($n = 2$) ତିନୋଟି ଶକ୍ତି ଅବସ୍ଥାରେ ($g = 3$) କେତୋଟି ସାମ୍ଭବ୍ୟ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଉପାୟରେ ରଖାଯାଇପାରେ ବିଚାର କରିବା ।

ପ୍ରଥମ ଘଟଣା, ପୃଥକ୍, ଅଣବର୍ଜନଶୀଳ କଣିକା : କଣିକା ଦୁଇଟି x ଓ 0 ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୁଅନ୍ତି । ଏ କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ତିନୋଟି ଶକ୍ତି ଅବସ୍ଥାରେ କେତୋଟି ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଉପାୟରେ ରଖା ଯାଇପାରିବେ ତାହା ନିମ୍ନରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି (କ୍ରମକୁ ହିସାବକୁ ନନେଇ) ।

$\cdots\cdots\cdots 0\cdots x\cdots\cdots\cdots x\quad\cdots\cdots 0\quad\cdots x\cdots\cdots\quad 0\cdots\cdots\cdots$

$\cdots\cdots\cdots 0\cdots x\cdots\quad\cdots x\cdots\cdots\quad 0\cdots\cdots\cdots 0\cdots\cdots\cdots x\cdots\cdots\cdots$

$\cdots 0\cdots x\cdots\cdots\quad 0\cdots\quad\cdots 0\cdots\cdots\cdots x\cdots\cdots\cdots x\cdots\cdots\cdots x$

ଉପରର ପ୍ରତି ସମ୍ଭାବନା ହେଉ $M-B$ ଫଳଗୁଡ଼ିକ ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ କରିବାରେ ବ୍ୟବହୃତ g^n ସମ୍ଭାବନା ।

ଦ୍ୱିତୀୟ ଘଟଣା; ଅପୃଥକ, ଅଣବର୍ଜନଶୀଳ କଣିକା : କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ଅପୃଥକ ହୋଇଥିବାରୁ ଆମେ କୋଠରୀ ଗୁଡ଼ିକ ସେଥିରୁ ଯେକୌଣସି ଗୋଟିକୁ ସୂଚାଉ । ଦୁଇଟି କଣିକାକୁ କୋଠରି ଗୁଡ଼ିକରେ କଣିକାମାନ ଛଅଟି ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଉପାୟରେ ସଜ୍ଜା ଯାଇ ପାରିବ ।

x	$x\cdots$	x	x
x	$x\cdots$	x	x
x	$x\cdots$	x	x

ଅପୃଥକ, ଅଣବର୍ଜନଶୀଳ କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ଉଚ୍ଚ ତାପରେ ମ୍ୟାକ୍ସୱେଲ ଓ ଓ ବୋଲ୍ଜମାନ ପରିସଂଖ୍ୟାନ ନିୟମ ବା ଅନ୍ୟ ପରିସଂଖ୍ୟାନ ମାନନ୍ତି । ଏପରି କଣିକାମାନଙ୍କ ପାଇଁ ବୋସ ଓ ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନ ପରିସଂଖ୍ୟାନ ଦେଇଥିଲେ, ଏପରି କଣିକାଗୁଡ଼ିକୁ ବୋସନ କୁହାଯାଏ । ଉପରେ ଦିଆଯାଇଥିବା ଉଦାହରଣରେ ଦୃଷ୍ଟି ପକାଇଲେ ଦେଖାଯିବ ଯେ, ଯେଉଁ କଣିକାଗୁଡ଼ିକ $B-E$ ପରିସଂଖ୍ୟାନ ମାନନ୍ତି ସେଗୁଡ଼ିକ ବୋଲ୍ଜମାନଙ୍କ ଅପେକ୍ଷା ଏକା ଶକ୍ତି ଅବସ୍ଥାରେ ଅଧିକ ସଂଖ୍ୟାରେ କଣିକାର ସମ୍ଭାବନା ବେଶୀ ଥାଏ । $M-B$ ଘଟଣାରେ ସଜ୍ଜାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ଏକ ତୃତୀୟାଂଶରେ ଏକା ଶକ୍ତିସ୍ତରରେ ଦୁଇଟିଯାକ କଣିକା ରହନ୍ତି, କିନ୍ତୁ $B-E$ ଘଟଣାରେ ଏହାଟି ଅର୍ଦ୍ଧେକ ।

ତୃତୀୟ ଘଟଣା; ଅପୃଥକ, ବର୍ଜନଶୀଳ କଣିକା : ପ୍ରତ୍ୟେକ କଣିକା କୋଠରୀ ଦ୍ୱାରା ଚିହ୍ନିତ ହୁଅନ୍ତି ଏବଂ ଅପବର୍ଜନ ନିୟମଟି ଅନୁମାନ କରିବା ଯେ, ଶକ୍ତି ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କରୁ ଗୋଟିଏରୁ କେବଳ ଗୋଟିଏ କଣିକା ରହିବ । ତେବେ ସମ୍ଭାବ୍ୟ ସଜ୍ଜା ହେଲ

···x··· ······x

···x··· ······x······

ଅପୃଥକ ବର୍ଜନଶୀଳ କଣିକାପାଇଁ ପରିସଂଖ୍ୟାନ ଫର୍ମି ଓ ଡିରାକଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଗଠିତ ହୋଇଅଛି । ଏହିପରି କଣିକାମାନଙ୍କୁ ସାଧାରଣତଃ ଫର୍ମିୟନ ବୋଲି କୁହାଯାଇଥାଏ । ଏହା ସ୍ପଷ୍ଟ ଯେ, ବର୍ଜନଶୀଳତା ସ୍ୱୀକାର କରିବାରୁ କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ଏକତ୍ରିତ ହୋଇ ଗୋଟିଏ ଶକ୍ତି ଅବସ୍ଥାରେ ରହିବାରୁ ବଞ୍ଚିତ ହେଲେ । ତେଣୁ $M-B$ ପରିସଂଖ୍ୟାନ ଅପେକ୍ଷା $B-E$ ପରିସଂଖ୍ୟାନ ଅଧିକ ଏକତ୍ରିତ ହେବା ଓ $F-D$ ପରିସଂଖ୍ୟାନ୍ କମ୍ ଏକତ୍ରିତ ହେବା ଅବସ୍ଥା ସୃଷ୍ଟି କରନ୍ତି ।

$B-E$ ଓ $F-D$ ବଣ୍ଟନ ଫଳନଗୁଡ଼ିକ ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ କରିବା ପୂର୍ବରୁ କେତେକ ଅନୁମାନକୁ ଗ୍ରହଣ କରିବା ଦରକାର, ଏହା ସ୍ୱାଧୀନ ଉନୋଟିପାକ ପରିସଂଖ୍ୟାନରେ ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇ ପାରିବ ।

ସଜ୍ଜା ଯଥା ଶକ୍ତିର ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମ ଓ ଅପବର୍ଜନ ନିୟମ ସହ ସଙ୍ଗତ ହୁଏ N ଟି କଣିକାର ଅନନ୍ତିକ ଶକ୍ତି ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ବାସ୍ତବରେ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ପ୍ରତ୍ୟେକ ସୂକ୍ଷ୍ମ ସଜ୍ଜାର ସହଜାତ ସମ୍ଭାବନା ଏକା ହେବ ।

$M-B$ ପରିସଂଖ୍ୟାନ ପାଇଁ ଆମେ ଦେଖିଥାଉଁ ଯେ, ସମୀକରଣ (୨୦·୭) n_1 କଣିକା ଶକ୍ତି ϵ_1 ଦ୍ୱାରା ସୂଚିତ ଶକ୍ତିକୋଷରେ ମିଳିବାର ତାପଗତିକ ସମ୍ଭାବନା ଦେଇ ଦେଇଥାଏ ଇତ୍ୟାଦି । ଆମେ ବର୍ତ୍ତମାନ $B-E$ ଓ $F-D$ ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକ ଅନୁରୂପ ସମ୍ଭାବନା ସ୍ଥିର କରିବା ।

21·3 ବୋଷ-ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନ୍ ବଣ୍ଟନ :

G ବାକ୍ସରେ n ଟି ଅପୃଥକ ବଲ୍ କିପରି ବଣ୍ଟାଯିବ ବିଚାର କରିବା । କୌଣସି ଗୋଟିଏ ବାକ୍ସରେ 0 ଠାରୁ n ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଯେକୌଣସି ସଂଖ୍ୟକ ବଲ୍ ରହିପାରନ୍ତି । ଗୋଟିଏ ସହଜ ପ୍ରଣାଳୀରେ ଏ ପ୍ରଶ୍ନଟି ସମାଧାନ କରାଯାଇ ପାରିବ । ମନେକର $g+n-1$ ସଂଖ୍ୟକ ସରଳରୈଖିକ ବିନ୍ୟାସର ଗର୍ତ୍ତମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ କଳା ବଲ୍ ବା

ଧଳା ବାଡ଼ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇ ପାରିବ । ଆମର nଟି କଳା ବଲ୍ ଓ $g-1$ଟି ଧଳା ବାଡ଼ ଅଛି, ଏଗୁଡ଼ିକ gଟି ବାକ୍ସ" ପୂର୍ଣ୍ଣ କରିବାପାଇଁ ଠିକ୍ ଯଥେଷ୍ଟ ହୁଅନ୍ତି । ଏମାନଙ୍କର ସାମୁହ୍ୟ ପୃଥକ କ୍ରମଚୟ n ସଂଖ୍ୟକ ବଲ୍ g ବାକ୍ସରେ ଯେତେ ପ୍ରକାରରେ ରଖାଯାଇପାରିବ, ତା'ର ସଂଖ୍ୟା ସହିତ ସମାନ । 10ଟି ବଲ୍ 6ଟି ବାକ୍ସରେ କିପରି ରଖାଯାଇପାରିବ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଛି । ପ୍ରଥମରେ ଦୁଇଟି, ଦ୍ୱିତୀୟରେ ତିନୋଟି, ତୃତୀୟରେ 0, ଚତୁର୍ଥରେ 1 ଇତ୍ୟାଦି ।

$g+n-1$ ପୃଥକ ପୃଥକ ଜିନିଷର କ୍ରମଚୟର ସଂଖ୍ୟା $(g+n-1)!$; କିନ୍ତୁ n କଳା ବଲ୍ ବା $g=1$ ଧଳା ବାଡ଼ରୁ କେହି ପୃଥକ ନୁହନ୍ତି, ତେଣୁ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ସଜ୍ଜାମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ହେଲା,

$$\frac{(g+n-1)!}{n!(g-1)!}$$

ବର୍ତ୍ତମାନ ଚିତ୍ର ୨୦·୨ର ଶକ୍ତି ଚିତ୍ରକୁ ଆମେ ଫେରିଯିବା; ଶକ୍ତିକୋଷମାନଙ୍କରେ N ଅପୃଥକ କଣିକାମାନଙ୍କର ସର୍ବାଧିକ ସାମୁହ୍ୟ ବଣ୍ଟନ କଥା ବିଚାର କରିବା । n_1 କଣିକାଙ୍କର ଶକ୍ତି ସ୍ତର ପ୍ରଥମ କୋଷରେ, n_2ଙ୍କର ଦ୍ୱିତୀୟରେ ଇତ୍ୟାଦିର ସମ୍ଭାବନା ହେଲା,

$$P(n_1,\cdots n_s)=\left[\frac{(g_1+n_1-1)!}{n_1!(g_1-1)!}\cdots\frac{(g_s+n_s-1)}{n_s!(g_s-1)!}\right]\frac{1}{C_B}$$

$$=\frac{1}{C_B}\prod_{i=1}^{s}\frac{(g_i+n_i-1)!}{n_i!(g_i-1)!} \qquad (୨୦·୧୦)$$

ଏଠାରେ

$$C_B=\sum_{n_1 \ldots n_s}\prod_{i=1}\frac{(g_i+n_i-1)!}{n_i!(g_i-1)!}$$

ର ସମସ୍ତ ସାମୁହ୍ୟ ମୂଲ୍ୟ

$$\ln P(n_1,\cdots\cdots,n_s)=\sum_{i=1}^{s}[\ln(g_i+n_i-1)!-\ln n_i!$$
$$-\ln(g_i-1)!]-\ln C_B$$

ପୁଣି ଥରେ ଆମେ ଷ୍ଟାର୍ଲିଂଙ୍କ ଉପପାଦ୍ୟ ବ୍ୟବହାର କରିବା ଏବଂ ଲଗ୍ରାଞ୍ଜଙ୍କ ସର୍ତ୍ତ $\alpha\,[(\sum_{i=1}^{s} n_i)-N]=0$ ଓ $\beta\,[(\sum_{i=1}^{s} n_i\in_i)-E]=0$ ଆରୋପଣ କରି'ପାଇବା,

$$\ln P(n_1,\cdots\cdots,n_s)=\sum_{i=1}^{s}[(g_i+n_i-1)\ln(g_i+n_i-1)$$
$$-(g_i+n_i-1)-n_i\ln n_i+n_i-(g_i-1)\ln(g_i-1)$$
$$+(g_i-1)]-\ln C_B-\alpha\,[(\sum_{i=1}^{s} n_i)-N]-\beta[(\sum_{i=1}^{s} n_i\in_i)-E]$$

(୨୦·୧୪)

ଆଉଥରେ ବଣ୍ଟନ ପରିମାଣରେ ସର୍ବାଧିକ ସାମ୍ଭାବ୍ୟ ବଣ୍ଟନ $\partial(\ln P)/\partial n_i$ ପ୍ରତ୍ୟେକ n_i ପାଇଁ ନିଶ୍ଚୟ ଶୂନ୍ୟ ହେବ, ଏଥିରୁ ମିଳିବ

$$\ln(g_i+n_i^*-1)+1-1-\ln n_i^*-1+1-\alpha-\beta\in_i=0$$

ଏବଂ

$$g_i-1=n_i^*(e^{\alpha}\,e^{\beta\epsilon_i}-1)$$

ବର୍ତ୍ତମାନ ଯଦି $g_i>>1$, ଆମେ ପାଇବା

$$f_{BE}(\in_i)=\frac{n_i^*}{g_i}=\frac{1}{e^{\alpha}\,e^{\beta\epsilon_i}-1}=\frac{1}{e^{\alpha}\,e^{\epsilon_i/kT}-1}\qquad(୨୦·୧୫)$$

ଯେହେତୁ ପୁଣି $\beta=1/kT$

ତାଙ୍କ ଅନୁସିଦ୍ଧାନ୍ତ ସହ ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ଫଳାଫଳକୁ ମିଳାଇବାରୁ ଫୋଟନ, ପାଇନ, α କଣିକା ଓ ସାଧାରଣ ସ୍ଥଳରେ ଯେଉଁ କଣିକାଙ୍କର ଶୂନ୍ୟ ବା ପୂର୍ଣ୍ଣ ସଂଖ୍ୟା ଭିତ୍ତିକ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସେ ସବୁଡ଼ B−E ପରିସଂଖ୍ୟାନ ପାଳନ କରନ୍ତି ବୋଲି ଦେଖାଗଲା ।

ଙ୍କାମଯାବ୍ଧ ଘରେ ଦୁଇଟି କୋଷରେ ସ୍ଥାନ ବିନିମୟ ଦ୍ୱାରା ତରଙ୍ଗଫଳନରେ କୌଣସି ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୁଏନାହିଁ; ଅନ୍ୟପକ୍ଷରେ, କୋଷମାନଙ୍କର ସ୍ଥାନ ବିନିମୟ ପାଇଁ ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟହୀନ ।

20·4 ଫର୍ମି-ଡିରାକ ବଣ୍ଟନ ନିୟମ :

nଟି ଅପୃଥକ କଣିକା ଯଦି ଅପବର୍ଜନ ନିୟମ (କୌଣସି କଣିକାରୁ ଅଧିକ କୌଣସି ଅବସ୍ଥାରେ ରହି ପାରିବେ ନାହିଁ)ର ବଶବର୍ତ୍ତୀ ହୋଇ g ଶକ୍ତି ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ବଣ୍ଟନ କରାଯାଆନ୍ତି, ତେବେ ବଣ୍ଟନର ଉପାୟ ସଂଖ୍ୟା ହେବ,

$$\frac{g(g-1)(g-2)\cdots\cdots(g-n+1)}{n!}=\frac{g!}{n!(g-n)!}$$

n_1 କଣିକା g_1 ଅବସ୍ଥାରେ, n_2 କଣିକା g_2 ଅବସ୍ଥାରେ ଇତ୍ୟାଦି ଅପବର୍ଜନ ନିୟମର ବଶବର୍ତ୍ତୀ ହୋଇ ବଣ୍ଟନ କରାଗଲେ ଉପର ପରି S ପଦମାନଙ୍କର ଗୁଣଫଳ ସମ୍ଭାବ୍ୟ ଉପାୟ ସଂଖ୍ୟା ହେବ; ଏପରି ପରିସ୍ଥିତିର ସମ୍ଭାବନା ହେବ,

$$P(n_1,\cdots\cdots n_s)=\frac{1}{C_F}\prod_{i=1}^{s}\frac{g_i!}{n_i!(g_i-n_i)!}$$

ଏଠାରେ

$$C_F=\sum_{\substack{n_1\cdots n_s\\ \text{ର ସମସ୍ତ}\\ \text{ସାମ୍ଭବ୍ୟ ମୂଲ୍ୟ}}}\prod_{i=1}^{s}\frac{g_i!}{n_i!(g_i-n_i)!}$$

ଏବଂ

$$\ln P(n_1\cdots\cdots n_s)=\sum_{i=1}^{s}[\ln g_i!-\ln n_i!-\ln(g_i-n_i)!]-\ln C_F$$

ଲଗ୍ରାଞ୍ଜଙ୍କ ଗୁଣକ ସମୀକରଣ ଓ ଷ୍ଟାର୍ଲିଂଙ୍କର ଉପପାଦ୍ୟର ବ୍ୟବହାର ସିଦ୍ଧାନ୍ତ ସ୍ୱରୂପରେ ହେବ,

$$ln\ P = \sum_{i=1}^{s} [g_i\ ln\ g_i - g_i - (g_i - n_i)\ ln\ (g_i - n_i) + (g_i - n_i)$$
$$- n_i\ ln\ n_i + n_i] - ln\ C$$
$$- \alpha[(\sum_{i=1} n_i) - N] - \beta[(\sum_{i=1} n_i \in_i) E]$$

ଏଥିରୁ ମିଳିବ,

$$\left(\frac{\partial ln\ P}{\partial n_i}\right)_{n_i^*} = ln\ (g_i - n_i^*) - 1 + 1 - ln\ n_i^* - 1 + 1$$
$$- \alpha - \beta \in_i = 0$$

ବା

$$g_i - n_i^* = n_i^*\ e^{\alpha}\ e^{\beta \epsilon_i}$$

ଏବଂ ଆମେ ଯଦି $\beta = 1/kT$ ବ୍ୟବହାର କରିବା

$$f_{FD}\ (E_i) = \frac{n_i^*}{g_i} = \frac{1}{e^{\alpha}\ e^{\epsilon/kT} + 1} \qquad (୨୦.୪୨)$$

ଯଦି ଆମେ $\alpha = - \in_F/kT$ ନେବା, ପାଇବା,

$$f_{FD}\ (\in_i) = \frac{n_i^*}{g_i} = \frac{1}{e^{(\epsilon_i - \epsilon_F)/kT} + 1} \qquad (୨୦.୪୨ କ)$$

ଏଠାରେ $\in_F$କୁ ଫର୍ମିଶକ୍ତି କୁହାଯାଏ ।

ଯେହେତୁ n_i/g_i ହେଲା g_i ଅବସ୍ଥାରୁ ଯେଉଁ କେବଳ ଭଗ୍ନାଂଶ ପୂର୍ଣ୍ଣ ହୋଇଥାଏ, ଏହା ସ୍ପଷ୍ଟ ଯେ f_{FD} $(\in_i)$ ହେଲା $\in_i$ ଶକ୍ତିର ଗୋଟିଏ ସ୍ତର ପୂର୍ଣ୍ଣ ହେବାର ସମ୍ଭାବନା ଏବଂ $\in_i = \in_F$ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ସ୍ତରର ପୂର୍ଣ୍ଣ ହେବାର ସମ୍ଭାବନା ହେଲା $\frac{1}{2}$ । ୨୧ ଅଧ୍ୟାୟରୁ ୨୩ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ କଠିନ ପଦାର୍ଥ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଆମର ସମସ୍ତ ଆଲୋଚନାରେ ଫର୍ମି ଶକ୍ତି ଗୋଟିଏ ପ୍ରଧାନ ବିଷୟ ବୋଲି ଆମେ ଦେଖି ପାରିବା ।

$F-D$ ପରିସଂଖ୍ୟାନ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ, ମ୍ୟୁଅନ, ପ୍ରୋଟନ, ନ୍ୟୁଟ୍ରନ ଓ ସାଧାରଣ ଭାବରେ ଅର୍ଦ୍ଧ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ବିଶିଷ୍ଟ ସମସ୍ତ କଣିକାଙ୍କ ପ୍ରତି ପାଳନ ହୋଇଥାଏ । ସେହି

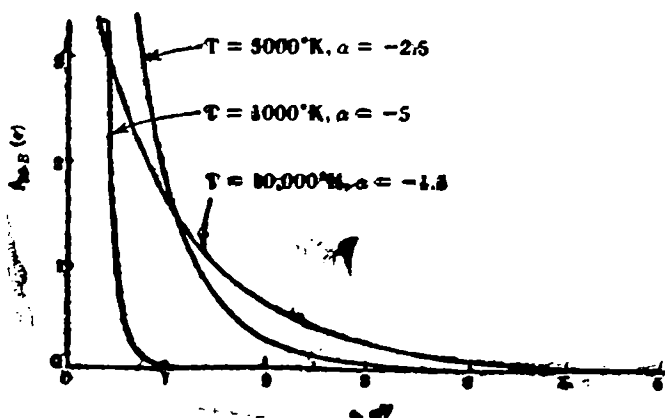
କଣିକାଗୁଡ଼ିକ $F-D$ ପରିସଂଖ୍ୟାନ ମାନନ୍ତି, ସେଗୁଡ଼ିକୁ ଫର୍ମିଅନ କହନ୍ତି ; ଗୋଟିଏ ମଣ୍ଡଳର ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ψରେ ଦୁଇଟି ଫର୍ମିଅନଙ୍କର ବିନିମୟ ψର ଚିହ୍ନ ଓଲଟାଇ ଦେଇଥାଏ; ଫର୍ମିଅନ-ମାନଙ୍କର ଗୋଟିଏ ମଣ୍ଡଳ ଗୋଟିଏ ଯୁଗ୍ମ କଣିକାର ବିନିମୟ ପାଇଁ ପ୍ରତିସମ ନୁହେଁ ।

2)·5 ବଣ୍ଟନ ନିୟମର ତୁଳନା :

ସମୀକରଣ (୧୦·୧୨) (୧୦·୧୫) ଓ (୧୦·୧୬)କୁ ପ୍ରତ୍ୟେକ ବଣ୍ଟନରେ ଭଗ୍ନାଂଶ n_i^*/g_iକୁ $\in_i$ର ଫଳନର ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇଅଛି । ଏଠାରେ n_i^* ହେଉଛି ପ୍ରତ୍ୟାଶିତ କଣିକା ସଂଖ୍ୟା ଓ g_i ଚିତ୍ର ୧୦·୨ର i ତମ ଶକ୍ତି ପରିସର ମଧ୍ୟରେ ଅବସ୍ଥିତ ଶକ୍ତି ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକର ସଂଖ୍ୟା । n_i^*/g_iକୁ ଶକ୍ତି $\in_i$ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକର ଦଖଲ ସୂଚୀ କୁହାଯାଏ । ଆମେ ଉପରେ ଯେପରି ଦେଖିଥାଇଁ, $F-D$ ପରିସଂଖ୍ୟାନ ପାଇଁ $f_{FD}(\in_i)=n_i^*/g_i$ ଅବସ୍ଥାଟି ଦଖଲରେ ଥିବାର ସମ୍ଭାବନା ବୁଝାଇଥାଏ । $M-B$ ଓ $B-E$ ବଣ୍ଟନ-ମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଏପରି କୌଣସି ସରଳ ଅର୍ଥ ଦେବା ସମ୍ଭବ ନୁହେଁ କାରଣ ଅନେକ ଅଣବର୍ଜନଶୀଳ କଣିକା ଏକା ଅବସ୍ଥାରେ ରହିପାରନ୍ତି ।

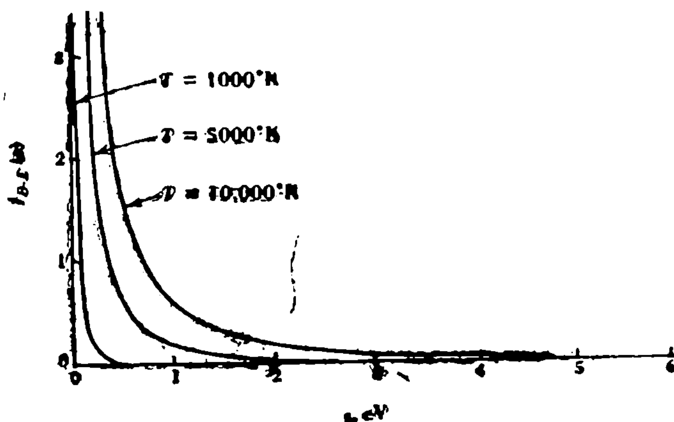
ଚିତ୍ର ୧୦·୩ରେ M B ବଣ୍ଟନ ତାପମାତ୍ରା ଓ ∈ର ଭିନ୍ନଗୋଟି ଭିନ୍ନ ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ ଅଙ୍କା ଯାଇଅଛି । $M-B$ ଦଖଲ ସୂଚୀ କେବଳ ଗୋଟିଏ ଏକ୍ସପୋନେନ୍‌ସିଆଲ୍ ∈ର ମୂଲ୍ୟ kT ବଢ଼ିଲେ ଏହାର ମୂଲ୍ୟ $1/e$ କ୍ରମରେ କମିଥାଏ । ଯଦିଓ $f_{MB}(\in_i)$ ହିଁ T ଓ ∈ର ଗୋଟିଏ ଫଳନ (ଏଠାରେ ପ୍ରତ୍ୟେକଟି ତାପମାତ୍ରା ଅଣୁସଂଖ୍ୟା ଓ ସାମ୍ଭବ୍ୟ ଶକ୍ତିସ୍ତରଗୁଡ଼ିକର ବଣ୍ଟନ ଉପରେ ନିର୍ଭରଶୀଳ) $f_{MB}(\in_1)$ ଓ $f_{MB}(\in_2)$ ମଧ୍ୟରେ ଅନୁପାତ କେବଳ ଶକ୍ତି ମଧ୍ୟରେ ତାରତମ୍ୟ ଓ kT ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିଥାଏ । ଏ ସମ୍ବନ୍ଧଟି ହେଲା,

$$\frac{f(\in_1)}{f(\in_2)}=e^{-(\epsilon_1-\epsilon_2)/kT}=e^{-\Delta E/kT} \qquad (୧୦·୧୭)$$



[ଚିତ୍ର ୧୦·୩ T ଓ α ର ତିନୋଟି ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ E ର ଗୋଟିଏ ଫଳନ ରୂପରେ ମାକ୍ସୱେଲ-ବୋଲ୍ଜମ୍ୟାନ ବଣ୍ଟନ]

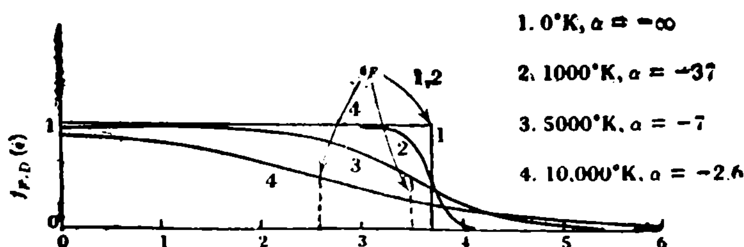
ଫୋଟନ ଗ୍ୟାସ ପାଇଁ ଚିତ୍ର ୧୦·୪ରେ B – E ବଣ୍ଟନ ଫଳନ ଅଙ୍କା ଯାଇଅଛି । ଏଥିପାଇଁ α = 0, କାରଣ ଗୋଟିଏ ଆବେଷ୍ଟନ ମଧ୍ୟରେ ଫୋଟନମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ଧ୍ରୁବ



[ଚିତ୍ର ୧୦·୪ ତିନୋଟି ତାପମାତ୍ରାରେ α = 0 ପାଇଁ ବୋଷ-ଆଇନଷ୍ଟାଇନ୍ ବଣ୍ଟନ ସୂଚୀ]

ରୁହେଁ ; ଗୋଟିଏ ସମତାପବାନ ଆବେଷ୍ଟନ ଭାଗରୁ ସର୍ବଦା ଫୋଟନ ବାହାରୁ ହେଉଛି ଓ ସେଥିରେ ଫୋଟନ ଶୋଷିତ ହେଉଛି । [N ଧ୍ରୁବ ନ ହୋଇଥିବା ଫଳରେ $\alpha\,[(\Sigma n_i) - N] = 0$ ସର୍ତ୍ତିଟି ରହିବ ନାହିଁ, ଏହି ସର୍ତ୍ତଦ୍ୱାରହିଁ αଟି ଅନ୍ୟ ସୂତ୍ରାବଳୀରେ ପ୍ରବେଶ କରିଥିଲା । ଏହି ସର୍ତ୍ତିଟି ଉଠାଇଦେବା, $\alpha = 0$ ନେବା ସଙ୍ଗେ ସମାନ] । ସାନ ସାନ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ $\in$ ପାଇଁ B−E ବଣ୍ଟନରୁ ମିଳୁଥିବା ଦଖଲସୂଚୀ M−B ବଣ୍ଟନ ପାଇଁ ମିଳୁଥିବା ସୂଚୀ ଅପେକ୍ଷା ଅଧିକ ହେଲେ ମଧ୍ୟ kT ତୁଳନାରେ ଅଧିକ B−E ବଣ୍ଟନ M−B ବଣ୍ଟନର ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ ହୋଇଥାଏ ।

ଚିତ୍ର ୨୦.୫ରେ F−D ବଣ୍ଟନ T ଓ αର କେତେଗୋଟି ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ ପାଇଁ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । $T = 0°k$ ଠାରେ $\in_F$ ଶକ୍ତିଠାରୁ କମ୍ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ଦଖଲ ସୂଚୀ 1 ଓ ସମସ୍ତ ଉଚ୍ଚତର ଅବସ୍ଥା ପାଇଁ ଏହା ଶୂନ୍ୟ । 0°kଠାରେ ମଣ୍ଡଳଟି ସର୍ବନିମ୍ନ ଶକ୍ତି ଅବସ୍ଥାରେ ଥିବାରୁ ସମସ୍ତ କଣିକା ସାମ୍ଭବ୍ୟ ସର୍ବନିମ୍ନ ସ୍ତରମାନଙ୍କରେ ରହିଥାଏ; ତେଣୁ ଉକ୍ତ ପ୍ରକାରର ଦଖଲସୂଚୀ ମିଳିଥାଏ । Tକୁ ବଢ଼ାଇବା ସଙ୍ଗେସଙ୍ଗେ ଫର୍ମିଶକ୍ତିଠାରୁ ବହୁତ କମ୍ ଶକ୍ତିମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଦଖଲସୂଚୀ 1 ରହେ ଓ ବହୁ ଉପରକୁ ଥିବା ଶକ୍ତିମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଏହା ଶୂନ୍ୟ ହୋଇଥାଏ । ଫର୍ମିସ୍ତରର ସାମାନ୍ୟ ତଳେ ଥିବା କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ଏହାର ସାମାନ୍ୟ ଉପରକୁ ଉତ୍ତେଜିତ ହୋଇଥାନ୍ତି । Tକୁ ବହୁ ଅଧିକ ମୂଲ୍ୟପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଉଠାଇବା ଦ୍ୱାରା ଫର୍ମିଶକ୍ତି କେତେକ ପରିମାଣରେ କମିଥାଏ (ଏହି ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ହେଲା ଯେଉଁ ଶକ୍ତି



[ଚିତ୍ର ୨୦.୫ T ଓ αର କେତେଗୋଟି ମୂଲ୍ୟପାଇଁ ଫର୍ମି ଡିରାକ ବଣ୍ଟନ ଫଳନ । ଫର୍ମିଶକ୍ତି E_Fଠାରେ ଦଖଲ ସୂଚୀ]

ଦଖଲ ସୂଚୀ ½) ଓ ବଣ୍ଟନ $f_{FD}(\epsilon)$ କ୍ରମେ କ୍ରମେ ଅଧିକରୁ ଅଧିକ M – B ବଣ୍ଟନ ପରି ହୋଇଥାଏ ।

F - D ଓ B - E ଉଭୟ ବଣ୍ଟନ $e^{\alpha\epsilon/kT} >> 1$ ହେଲବେଳେ F – B ବଣ୍ଟନର ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ ହୋଇଥାନ୍ତି । ଯେତେବେଳେ ଏହି ଅସମାନତା ସର୍ତ୍ତ ପୂରଣ ହୋଇଥାଏ, B - E ଓ F - D ଉଭୟ ବଣ୍ଟନ ପାଇଁ ସମୀକରଣ (୨୦·୧୭) ଯିକ ହୁଏ । ନିମ୍ନରେ ଦିଆଥିବା ଅନୁଚ୍ଛେଦମାନଙ୍କର $M-B$ ଓ B—E ପରିସଂଖ୍ୟାନମାନଙ୍କର ବ୍ୟବହାର ଆମେ ଦେଖାଉଛୁ; ଏହା ପରଅଧ୍ୟାୟମାନଙ୍କରେ F – D ପରିସଂଖ୍ୟାନର ବହୁ ବ୍ୟବହାର ମିଳିପାରିବ ।

20 6 ଗ୍ୟାସର ବିଶିଷ୍ଟ ତାପ :

ପୁରାତନ ଶକ୍ତିର ସମବଣ୍ଟନ ନିୟମର ଗ୍ୟାସର ବିଶିଷ୍ଟ ତାପ ବୁଝାଇବାରେ ଅପାରଗତା ଅନୁଚ୍ଛେଦ ୪·୩୦ରେ ଆମେ ଆଲୋଚନା କରିଥିଲୁ । ଯେତେବେଳେ ଅଣୁର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମକୁ ବୁଝାଇବାର ପ୍ରଧାନ ସ୍ଥାନ ପାଇଥିବା କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ସାହାଯ୍ୟରେ, ଅଣୁମାନଙ୍କର ଆଭ୍ୟନ୍ତର ଶକ୍ତି ପ୍ରକାଶ କରାଗଲା, ସେତେବେଳେ ଏ ସମସ୍ତ ବଡ଼ ବଡ଼ ବାଧା ଦୂର ହୋଇଗଲା । ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ ଗ୍ୟାସ ପାଇଁ ଭିନ୍ନ ସ୍ତରମାନଙ୍କର ଦଖଲସୂଚୀ M – B ବଣ୍ଟନ ନିୟମ (୨୦·୧·) ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ, ଏହା ଅନୁସାରେ ϵ_i ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଅବସ୍ଥାରେ ଥିବା ଅଣୁମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ହେବ,

$$n_i = C\, g_i\, e^{-\epsilon_i/kT} \qquad (୨୦·୧୮)$$

ଏଠାରେ $N = \Sigma n_i$ ହେବାଭଳି C ଗୋଟିଏ ଧ୍ରୁବ । Cକୁ ବହିଷ୍କାର କରି ଆମେ ଲେଖିପାରିବା,

$$n_i = \frac{N g_i\, e^{-\epsilon_i/kT}}{\sum_{i=1}^{g} g_i\, e^{-\epsilon_i/kT}} \qquad (୨୦·୧୯)$$

ଏହି ସମୀକରଣଗୁଡ଼ିକ ପରମାଣୁ ଓ ଅଣୁ ଉଭୟଙ୍କର ବଣ୍ଟନ ଅବସ୍ଥାଲାଗି ଠିକ । ଆମେ ପ୍ରଥମେ ପାରମାଣବିକ ଭୌତିକ ବିଜ୍ଞାନରୁ ଗୋଟିଏ ଉଦାହରଣ ନେବା $3^2P_{\frac{3}{2}}$ ଓ $3^2P_{\frac{1}{2}}$ ସ୍ତରମାନଙ୍କରୁ $3^2S_{\frac{1}{2}}$ ସ୍ତରକୁ (ଅନୁ: ୧୬.୩) ସଂକ୍ରମଣ ଦ୍ୱାରା ସୋଡ଼ିୟମ D ରେଖା ଉତ୍ପନ୍ନ ହୋଇଥାଏ । ଗୋଟିଏ ବୁନ୍‌ସେନ ଅଗ୍ନିଶିଖାରେ (ଏହାର ତାପମାତ୍ରା 1800°c) 3^2P ସ୍ତରମାନଙ୍କରେ ସୋଡ଼ିୟମ ପରମାଣୁମାନଙ୍କରୁ କେତେ ଭଗାଂଶ ଥାଏ, ଆମେ ହିସାବ କରିବା । 3^2P ଓ 3^2S ମଧ୍ୟରେ ପରଭେଦ ଶକ୍ତି ତୁଳନାରେ (ଏହି ଶକ୍ତି ପରିମାଣ $3{\cdot}36 \times 10^{-19}$ g.) ଅତି ସାମାନ୍ୟ ଶକ୍ତି ତାରତମ୍ୟ ହେଲେ ସୂକ୍ଷ୍ମଗଠନ ମିଳିଥାଏ ବୋଲି ମନେ ରଖିବା ଦରକାର । 3^2Pର ପରିସଂଖ୍ୟାନ ଓଜନ ହେଲା 6 ($P_{\frac{3}{2}}$ର 4 ଓ $P_{\frac{1}{2}}$ର 2) ଓ $3^2S_{\frac{1}{2}}$ର 2 । ଯଦି n_0 ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ପରମାଣୁ ସଂଖ୍ୟା ବୁଝାଏ ଓ n_1 3^2P ଉତ୍ତେଜିତ ସ୍ତରମାନଙ୍କରେ ପରମାଣୁ ସଂଖ୍ୟା ବୁଝାଏ, ଆମେ ଏହି ଅନୁପାତ ପାଇବା,

$$\frac{n_1}{n_0} = \frac{6}{2}\, e^{-(\epsilon_1 - \epsilon_0)/kT} = 3e^{-(3.36\times10^{-19}/1{\cdot}38\times10^{-23}\cdot2073)}$$

$$= 2{\cdot}3 \times 10^{-5}.$$

ତେଣୁ 2073°k ଠାରେ କୌଣସି ଦତ୍ତ ସମୟରେ ମାତ୍ର ଅତି କମ୍ ଅଂଶର ସୋଡ଼ିୟମ ପରମାଣୁ ତାପଦ୍ୱାରା ଉତ୍ତେଜିତ ହୋଇଥିବ । ତଥାପି ସେମାନେ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ଭାବେ ସୋଡ଼ିୟମ ଆଲୋକ ବିକିରଣ କରିବାପାଇଁ ଯଥେଷ୍ଟ ହୁଅନ୍ତି ।

କୌଣସି ଗ୍ୟାସରେ ଅଣୁଗୁଡ଼ିକ ସମୀକରଣ (୨୦.୧୯) ଅନୁଯାୟୀ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ପରିସଂଖ୍ୟାନୁଯାୟୀ ବଣ୍ଟନ ହୋଇଥାଏ, ଏଠାରେ $\in$ ଅଣୁମାନଙ୍କର ଅଭ୍ୟନ୍ତର ଶକ୍ତି ବୁଝାଇଥାଏ । ଏହି ଅଭ୍ୟନ୍ତର ଶକ୍ତି (୧) ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସହ (୨) ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ଦୋଳନ ସହ ବା (୩) ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ମାନଙ୍କ ଉତ୍ତେଜନା ସହ ସଂଯୁକ୍ତ ହୋଇପାରେ । N_A ସଂଖ୍ୟକ ଅଣୁ ବିଶିଷ୍ଟ 1 $kmole$ ପାଇଁ ମୋଟ ଅଭ୍ୟନ୍ତର ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ହେଲା,

$$E_i = \sum_{j=1}^{s} n_i \in_i = N_A \frac{\Sigma \in_i g_i\, e^{-\epsilon/kT}}{\Sigma\, g_i\, e^{-\epsilon/kT}} \qquad (୨୦.୨୦)$$

ସ୍ଥାନାନ୍ତରଣ ଗତିଜ ଶକ୍ତି E_t ହେଲା $N_A \times \frac{3}{2}kT$ [ସମୀକରଣ (୪.୪) ଦ୍ୱାରା] ବା 3RT/2 । ଅତଏବ ମୋଟ ଶକ୍ତି ହେଲା $E = E_t + E_i$ ଏବଂ ଯେହେତୁ ପ୍ରତି *kilomole* ପାଇଁ ବିଶିଷ୍ଟ ତାପ C_v ହେଲା $(\partial E/\partial T)$, ଆମେ ପାଇବା,

$$C_v = \frac{3}{2}R + N_A \frac{d}{dT}\frac{\Sigma \in_i g_i e^{-\epsilon_i/kT}}{\Sigma g_i e^{-\epsilon_i/kT}} \qquad (୨୦.୨୧)$$

ଅନ୍ତତଃ ତାତ୍ତ୍ୱିକ ଦୃଷ୍ଟିରୁ ବର୍ତ୍ତମାନ $\in_i$ର ମୂଲ୍ୟ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମର ଆଲୋଚନାରୁ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରି ନେବା ସମ୍ଭବ ; ସମୀକରଣ (୨୦.୨୧) ସାହାଯ୍ୟରେ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ଫଳରୁ ଧ୍ରୁବ ଘନରେ ବିଶିଷ୍ଟ ତାପ ହିସାବ କରିବା ମଧ୍ୟ ସମ୍ଭବ । ପ୍ରକୃତରେ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ବସ୍ତୁ ପାଇଁ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣଭାବେ ସଫଳତାର ସହିତ ଏହା କରାଯାଇଅଛି ।

ସମୀକରଣ (୨୦.୨୧)ରୁ ବିଶିଷ୍ଟ ତାପର ତାପମାତ୍ରା ସହିତ ପରିବର୍ତ୍ତନ ଜଣାଯାଏ । ଯେତେବେଳେ T ବହୁତ ସାନ ହୁଏ, $C_v = 1{\cdot}5R$ – ଏହାହିଁ ଏକ ପାରମାଣବିକ ଗ୍ୟାସ ପାଇଁ ପ୍ରଚଳନ ମୂଲ୍ୟ । ତାପମାତ୍ରା ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ବହୁ ପାରମାଣବିକ ଅଣୁସବୁ ତାପଜ ଉତ୍ତେଜନାବଶତଃ ଉଚ୍ଚତର କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କୁ ଯାଇଥାଏ । ସଂଲଗ୍ନ ଦୋଳନ ଓ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନୀୟ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ସହ ସଂଯୁକ୍ତ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକଠାରୁ ଏହା ଆରମ୍ଭ ହୋଇଥାଏ । ସାଧାରଣ ଭାବରେ କହିଲେ, କୋଠରୀ ତାପମାତ୍ରାରେ (1°c) $kT = 0{\cdot}025eV$ ହେବାସ୍ଥଳେ ଦ୍ୱିଅଣୁ ଘୂର୍ଣ୍ଣନସ୍ତର $0{\cdot}0025$ରୁ $0{\cdot}0025eV$ ମଧ୍ୟରେ ରହେ, ଦୋଳନରେ ଉଚ୍ଚରୁ ପ୍ରଥମ ପାଦ 0.025ରୁ $0{\cdot}25$ eV ଦରକାର କରେ ଏବଂ ପ୍ରଥମ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନୀୟ ଉତ୍ତେଜନା ଦରକାର କରେ ଅନ୍ତତଃ $2eV{\cdot}1$ ତେଣୁ ଏହା ସ୍ପଷ୍ଟ ଯେ, ସାଧାରଣ ତାପମାତ୍ରାମାନଙ୍କରେ ଅଣୁଗୁଡ଼ିକ ଘୂର୍ଣ୍ଣନସ୍ତରମାନଙ୍କର ପ୍ରଥମ ସେଟ୍ ମଧ୍ୟରେ ବିଶେଷ ଭାବରେ ବାଣ୍ଟିହୋଇ ରହିଥାଏ । ଏହି ଅବସ୍ଥାରେ ପ୍ରତି ଅଣୁପାଇଁ ହାରାହାରି ଘୂର୍ଣ୍ଣନଶକ୍ତି ପ୍ରଚଳନ ମୂଲ୍ୟର ପାଖାପାଖି ହୋଇଥାଏ । ଏହି ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ଗୋଟିଏ ଦ୍ୱିପାରମାଣବିକ ଅଣୁ ପାଇଁ kT ଓ ତିନୋଟି ବା ତତୋଧିକ ପରମାଣୁ ସରଳରୈଖିକ ଭାବରେ ନଥିଲେ ଗୋଟିଏ ଅଣୁ ପାଇଁ ଏହାର ପରିମାଣ $3/2$ kT । ତେଣୁ ସରଳ ଅଣୁମାନଙ୍କ ପାଇଁ ପ୍ରଚଳନ ତତ୍ତ୍ୱର ସଫଳତା ଆମେ ବୁଝିପାରୁ ।

ଉଚ୍ଚତର ତାପମାତ୍ରାମାନଙ୍କରେ C_vକୁ ଦୋଳନ ଶକ୍ତି ବିଶେଷ ପରିମାଣରେ ଅବଦାନ ଦେଇଥାଏ, କାରଣ ପ୍ରତି ଦୋଳନସ୍ତରପାଇଁ kT ପରିମାଣର ଶକ୍ତି ଦେଇଥାଏ । 10,000°c ତାପମାତ୍ରାର ବହୁ ଉପରର ତାପମାତ୍ରାରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରୀୟ ସ୍ତରମାନଙ୍କରୁ ମଧ୍ୟ ଅବଦାନ ଆଶା କରାଯାଇପାରେ ।

ପରୀକ୍ଷା ଫଳ ସହିତ ତୁଳନା : ଚିତ୍ର ୨୦·୨ରେ ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ବିଶିଷ୍ଟ ତାପର ପରୀକ୍ଷା ଫଳ ସବୁ ବୃତ୍ତାକାରରେ ଅଙ୍କନ କରାଯାଇଅଛି । 60°kର ତଳକୁ $C_v=1{\cdot}5R$, ମାତ୍ର 300ରୁ 500° ମଧ୍ୟରେ $C_v \approx 2{\cdot}5k$ର ଅତି ପାଖାପାଖି; କିନ୍ତୁ 600·kର ଉପରକୁ ଦୋଳନ ଅଂଶ ଗ୍ରହଣ କରିଥାଏ । ଦୁଇଟି ଏକପ୍ରକାରର ପରମାଣୁକୁ ନେଇ ଗଠିତ ଅଣୁର ତତ୍ତ୍ୱ ଏଠାରେ ବର୍ଣ୍ଣିତ ତତ୍ତ୍ୱ ତୁଳନାରେ ଅଧିକ ଜଟିଳ । ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପାଇଁ ଅନୁ: ୨୦·୪ରେ ଯେଉଁ ତତ୍ତ୍ୱ ସଂକ୍ଷେପରେ ବର୍ଣ୍ଣନା କରାଯାଇଅଛି, ତାହାର ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ପୁଙ୍ଖାନୁପୁଙ୍ଖ ପରୀକ୍ଷାଦ୍ୱାରା ପ୍ରତିପାଦନ କରିବା ସମ୍ଭବ ହୋଇଅଛି ।

କ୍ୱାଣ୍ଟମ ତତ୍ତ୍ୱର ବ୍ୟବହାରର ଅନ୍ୟ ଉଦାହରଣମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଆମେ କ୍ଲୋରିନ କଥା ବିଚାର କରିବା । N_2 ବା H_2 ପରି ଗ୍ୟାସମାନଙ୍କ ପରି ଦ୍ୱିତୀୟ ଦୋଳନ ଅବସ୍ଥା ($\nu=1$) ପ୍ରଥମ ଅବସ୍ଥା ($\nu=0$)ର ବହୁ ଉପରେ ପଡ଼ୁଥିବା ସ୍ଥଳେ, କ୍ଲୋରିନ ପାଇଁ ଏହା ପ୍ରଥମର ମାତ୍ର 560cm^{-1} ଉପରକୁ ପଡ଼ିଥାଏ । ଏହା ଇଲେକ୍ଟ୍ରୀୟ ବ୍ୟାଣ୍ଡମଣ୍ଡଳର ଆଲୋଚନାରୁ 4800ରୁ 5800A° ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ରହିଥିବା ଶୋଷଣ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରୁ ଜଣାଯାଏ ।

ଏହି ଦୁଇ ଅବସ୍ଥା ମଧ୍ୟରେ ଶକ୍ତି ତାରତମ୍ୟ ହେବ,

$$\epsilon_1-\epsilon_0=h\nu=6{\cdot}62\times10^{-34}\times560\times3\times10^{10}$$
$$=1{\cdot}110\times10^{-20}g.$$

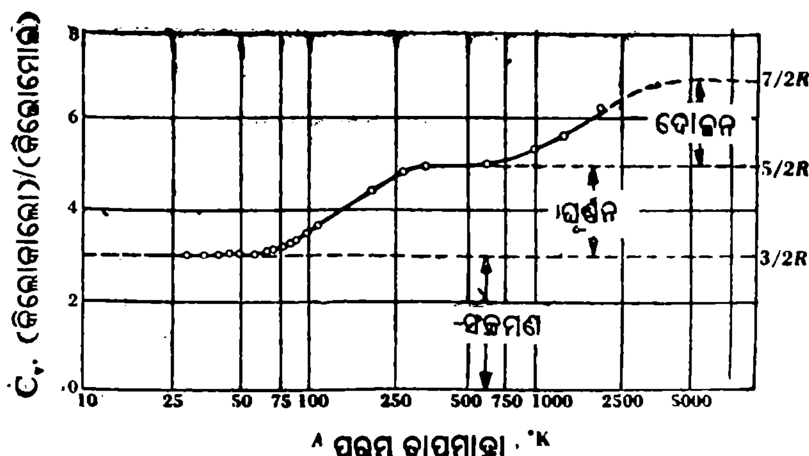
T $=288°k$ଠାରେ ଦୁଇ ଅବସ୍ଥା ପାଇଁ ବୋଲ୍‌ଜମ୍ୟାନ ଗୁଣକମାନଙ୍କର ଅନୁପାତ ହେବ $e^{-(\epsilon_1-\epsilon_0)/kT}=e^{-2{\cdot}794}=0{\cdot}0611$ । ତେଣୁ, ପ୍ରଥମ ଅବସ୍ଥାରେ ଯେତେ ଅଣୁ ରହିବେ, ଦ୍ୱିତୀୟ ଅବସ୍ଥାରେ ତା'ର 0·061 ଗୁଣ ରହିବେ । ମିଳୁଥିବା ଏହି ଦୋଳନ-ପାଇଁ ଅଧିକା ଶକ୍ତି 1 K$mole$ କ୍ଲୋରିନ ପାଇଁ ହେଲା,

$$N_A (\epsilon_1 - \epsilon_0)\, e^{-(\epsilon_1-\epsilon_0)/kT}$$

ଏହି ଶବ୍ଦର C_vକୁ ଅବଦାନ ହେଲା,

$$N_A \frac{(\epsilon_1-\epsilon_0)^2}{kT^2}\, e^{-(\epsilon_1-\epsilon_0)/kT} = R\left(\frac{\epsilon_1-\epsilon_0}{kT}\right)^2$$

$$e^{-(\epsilon_1-\epsilon_0)/kT} = 0{\cdot}48R$$



[ଚିତ୍ର ୧୦·୬ ପରମତାପମାତ୍ରାର ଫଳନସ୍ୱରୂପରେ ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ଧ୍ରୁବଘନରେ ବିଶିଷ୍ଟ ତାପ]

ତେଣୁ, $C_v = (2{\cdot}5 + 0{\cdot}48)R = 2{\cdot}98R$ – ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ମୂଲ୍ୟ $3{\cdot}02R$ ସଙ୍ଗେ ଏହା ମୋଟାମୋଟି ମିଳିଯାଉଅଛି । ସମୀକରଣ (୧୦·୨୧)କୁ ବ୍ୟବହାର କରି ଆହୁରି ଠିକ୍ ଭାବରେ ହିସାବ କଲେ ମିଳିବ,

$$C_v = 3{\cdot}06R$$

ଯେତେବେଳେ Hcl ପାଇଁ ଏହିପରି ହିସାବ କରାଯିବ, [ଏହାର ଦୋଳନ-ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-ବ୍ୟାଣ୍ଡ $3{\cdot}4\mu$ ବା $2886 cm^{-1}$ (ଅନୁ ୧୯·୮)ରେ $\epsilon_1 - \epsilon_0 = 5{\cdot}73 \times 10^{-20}$ j ହୋଇଥାଏ] ବୋଲ୍ଜମ୍ୟାନ ଗୁଣକମାନଙ୍କର ଅନୁପାତ କେବଳ 5×10^{-7} ମିଳିଥାଏ । ତେଣୁ ଆଣବିକ ଦୋଳନ Hclର ବିଶିଷ୍ଟ ତାପକୁ ବିଶେଷ

ଅବଦାନ ଦେଇପାରି ନଥାଏ । O_2 ପାଇଁ, $\epsilon_1 - \epsilon_0 = 1556\ cm^{-1}$ ଓ ତୋଲନ C_vକୁ ପ୍ରାୟ $0{\cdot}026R$ ଅବଦାନ ଦେଇପାରେ । C_vର ଅନ୍ୟ ପରିବର୍ତ୍ତିନ ପୂର୍ଣ୍ଣ ଶକ୍ତିର କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଶୋଧନ ଫଳରେ ହୋଇପାରିଥାଏ ।

20·7 କଠିନ ପଦାର୍ଥର ବିଶିଷ୍ଟ ତାପ :

ପୁରାତନ ଶକ୍ତିର ସମବଣ୍ଟନ ନିୟମରୁ କଠିନ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କର ପ୍ରତି କିଲୋମୋଲ୍ ପ୍ରତି ବିଶିଷ୍ଟ ତାପ $3R$ ବୋଲି ମିଳିଥିଲା (ଅନୁ: ୪·୩) । ଏହି ଫଳ ଡୁଲଙ୍ଗ ଓ ପେଟିଟ୍ଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ବହୁ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ ପାଇଁ ଉଚ୍ଚ ତାପମାତ୍ରାମାନଙ୍କରେ ଠିକ୍ ବୋଲି ପରୀକ୍ଷିତ ହୋଇଥିଲା । ତେବେ ସ୍ୱଳ୍ପ ତାପମାତ୍ରା ପରିସର ମଧ୍ୟରେ ଏହି ଫଳ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଭାବେ ଭୁଲ ବୋଲି ପ୍ରମାଣିତ ହେଲା (ଚିତ୍ର ୪·୧) । ତାପମାତ୍ରା ଅନୁସାରେ ପରିବର୍ତ୍ତନକୁ ବୁଝିବା ଉଦ୍ଦେଶ୍ୟରେ 1907 ମସିହାରେ ଆଇନଷ୍ଟାଇନ ବହୁତ ଆଗେଇ ନେଇଥିଲେ । ସେ ପ୍ରତ୍ୟେକ ପରମାଣୁକୁ ଗୋଟିଏ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ପାରମାଣବିକ ଦୋଳକ ଭାବରେ ନିଦେଷବର୍ତ୍ତୀ ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ପ୍ରଭାବମୁକ୍ତ ହୋଇ ν ଆବୃତ୍ତିରେ ଦୋଳନ କରୁଥିବାର ଅନୁମାନ କଲେ । ପୁରାତନ ମୂଲ୍ୟ kT ସ୍ଥାନରେ ଆଇନଷ୍ଟାଇନ ପ୍ଲାଙ୍କଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ବ୍ୟବହୃତ କରାଯାଇଥିବା ଦୋଳକର ଗଡ଼ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ନେଲେ (ସମୀକରଣ ୫·୧୮) । ଏହି ଗଡ଼ଶକ୍ତି ମୂଲ୍ୟ $\epsilon = h\nu/(e^{h\nu/kT} - 1)$କୁ ଆଭୋଗାଡ୍ରୋ ସଂଖ୍ୟା N_A ଓ 3 ଦ୍ୱାରା ଗୁଣନ କରି, 1 $kmole$ର ଦୋଳନ ଶକ୍ତି ପାଇଁ ଆମେ ପାଇବା,

$$E_0 = \frac{3N_A h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1}$$

ଏବଂ କିଲୋମୋଲର ବିଶିଷ୍ଟ ତାପ ପାଇଁ ପାଇବା,

$$C_v = \frac{dE_0}{dT} = 3R\left[\frac{e^{h\nu/kT}}{(e^{h\nu/kT} - 1)^2}\left(\frac{h\nu}{kT}\right)^2\right] \qquad (୨୦.୧୨)$$

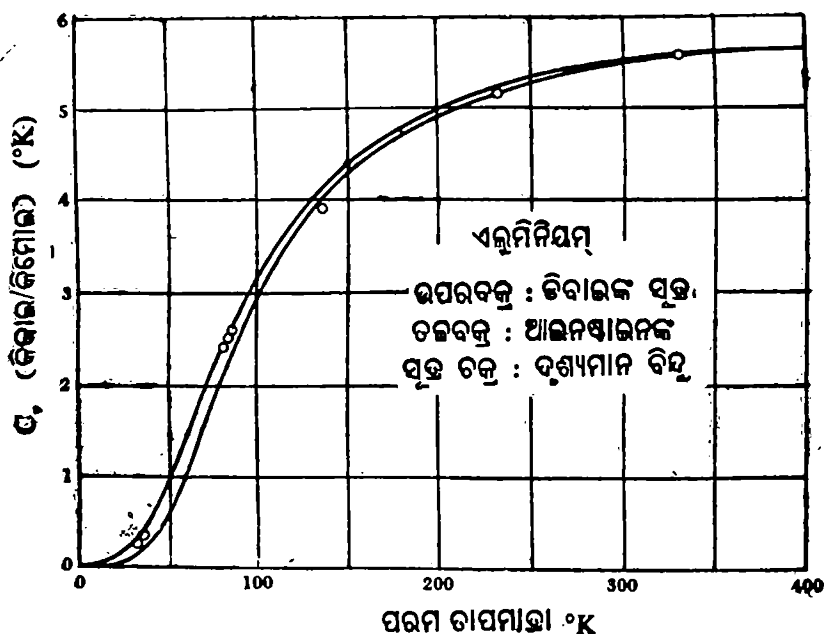
ଯଦ୍ୟପି ଉଚ୍ଚତାପମାତ୍ରାରେ ଏହି ଉକ୍ତି ପୁରାତନ ମୂଲ୍ୟ $3R$କୁ ଆସିଯାଏ, ନିମ୍ନ ତାପମାତ୍ରାମାନଙ୍କରେ ଏକ୍ସପୋନେନ୍ସିଆଲ୍ ଭାବେ ଶୂନ୍ୟ ଓ C_v ଦ୍ରୁତଗତିରେ କମିଯାଏ । ସୁତରାଂ ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ଫଳ ସଙ୍ଗେ ଏକପ୍ରକାର ମିଳିଯାଏ । ଚିତ୍ର ୨୦·୭ରେ ନିମ୍ନ ରେଖାରେ ଏହା

ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ତେବେ, ଅତି ଅଳ୍ପ ତାପମାତ୍ରାମାନଙ୍କରେ ମୋଟାମୋଟି ଭାବରେ ଏକ୍ସପୋନେନ୍ସିଆଲ ପରି ହେଉଥିବା ରେଖା ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ବିନ୍ଦୁଗୁଡ଼ିକ ସହ ମିଳେ ନାହିଁ । ଭଲଭାବରେ ପରୀକ୍ଷା କଲେ ଦେଖାଯାଏ ଯେ, $0°k$ ନିକଟରେ C_v ଟି T^3 କ୍ରମରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇଥାଏ ।

1912 ମସିହାରେ ଡିବାଇ ଏହାଠାରୁ ଉନ୍ନତ ଧରଣର ତତ୍ତ୍ୱ ଦେଇଥିଲେ । ସେ ଦେଖାଇଥିଲେ ଯେ, କୌଣସି ମୁହୂର୍ତ୍ତରେ ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁର ବିସ୍ଥାପନ ଏହାର ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ ଅନ୍ୟ ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ବିସ୍ଥାପନ ଘନିଷ୍ଠଭାବରେ ସମ୍ପୃକ୍ତ । ସ୍ଫଟିକ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରବାହିତ ହେଉଥିବା ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ତରଙ୍ଗ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରତ୍ୟେକ ପରମାଣୁ ଏହାର ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ ଅନ୍ୟ ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ସହ ଶକ୍ତି ବିନିମୟ କରିଥାଏ । ଏହି ଗତିଶୀଳ ତରଙ୍ଗଗୁଡ଼ିକୁ କଣିକା ଭାବରେ ବର୍ଣ୍ଣନା କରାଯାଇପାରେ, ଏଗୁଡ଼ିକର ନାମ ହେଲା ଫୋନନ୍ । ଠିକ୍ ଯେପରି ଫୋଟନ୍‌ର ଶକ୍ତି କ୍ୱାଣ୍ଟିକୃତ ହୋଇଥାଏ, ସେହିପରି ଏହି ଫୋନନ୍‌ର ମୂଲ୍ୟ ମଧ୍ୟ $h\nu$ ଏକକରେ କ୍ୱାଣ୍ଟିକୃତ ହୋଇଥାଏ । କେଶ୍ଚ ସ୍ଫଟିକର ଦୋଳନ ଶକ୍ତି ଲାଟିସ୍ ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଗତି କରୁଥିବା ଫୋନନ୍‌ଗୁଡ଼ିକ ସହ ସଂପୃକ୍ତ କରାଯାଇପାରେ ।

ଯେକୌଣସି କଠିନ ପଦାର୍ଥ ବିଭିନ୍ନ ଆବୃତ୍ତିରେ ବହୁ ସ୍ୱରରେ ସ୍ଥିତି ସ୍ଥାପକ ଦୋଳନରେ ଉଦ୍ଦୀପିତ ହୋଇପାରେ । ଅନୁ; ୫·୩ରେ ଗୋଟିଏ ଅବେଷ୍ଟନୀ ମଧ୍ୟର ବିଦ୍ୟୁତ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରର ସ୍ଥିର ତରଙ୍ଗସବୁ ଯେପରି ହିସାବ କରାଯାଇଥିଲା, ପ୍ରଧାନତଃ ସେହିପରି ଭାବରେ ଡିବାଇ ବିଭିନ୍ନ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଦୋଳନ ସ୍ୱର ସବୁ ହିସାବ କରିଥିଲେ । ଏ ଦୁଇ ହିସାବ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରଧାନ ପ୍ରଧାନ ପ୍ରଭେଦଗୁଡ଼ିକ ହେଲା (୧) ଗୋଟିଏ କଠିନ ପଦାର୍ଥ ମଧ୍ୟରେ ଦୋଳନ ସ୍ୱରର ସଂଖ୍ୟା ସସୀମ ଓ (୨) ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ଦୋଳନ ଦୁଇ ପ୍ରକାରର ଅଛି । ଅନୁପ୍ରସ୍ଥ ଦୋଳନରେ ଦୁଇଟି ପରସ୍ପରଠାରୁ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ପାର୍ଶ୍ୱୀକରଣ ଥାଏ । ଏହା ଆଲୋକର ପାର୍ଶ୍ୱୀକରଣର ଅନୁରୂପ । କଠିନ ପଦାର୍ଥର ଘନର ପ୍ରତି ଏକକ ପାଇଁ ଏହି ସ୍ୱରର ସଂଖ୍ୟା dn_t ସମୀକରଣ (୫·୯)ରୁ ମିଳିଥାଏ । $dn_t = g(\nu)d\nu = (8\pi\nu^2 d\nu)/v_t^3$, ଏଠାରେ v_t ଅନୁପ୍ରସ୍ଥ ତରଙ୍ଗମାନଙ୍କର ଗତିବେଗ । ଏହାଛଡ଼ା ଅନୁଲମ୍ବ ତରଙ୍ଗ ଗୋଟିଏ ପ୍ରକାରର ହୋଇଥାଏ । ଏହା v_l ଗତିବେଗରେ ଗତି କରେ ଓ ଏହାର ସାନ୍ଦ୍ରତା ହେଲା $dn_l = (4\pi\nu^2 d\nu)/v_l^3$ ।

ବର୍ତ୍ତମାନ ଆମେ ଅନୁମାନ କରିବା ଯେ, ଏହି ପ୍ରତ୍ୟେକ ସ୍ୱର ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ କେବଳ ସମୀକରଣ (୫·୧୮)ରେ ଦିଆଥିବା ଗଡ଼ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ମୂଲ୍ୟ । ଗୋଟିଏ ସର୍ବନିମ୍ନ ମୂଲ୍ୟଠାରୁ (ପ୍ରାୟ ଶୂନ୍ୟ) ସର୍ବାଧିକ ସମ୍ଭବ ମୂଲ୍ୟ ν ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ସମସ୍ତ ଆବୃତ୍ତି ଉପରେ ସମାକଳ କରି ଓ 1 *kmole*ର ଘନ V_0ରେ ଗୁଣନ କରି ଆମେ 1 *kmole*ର ତାପଜ ଶକ୍ତି ପାଇଁ ପାଇବା,



[ଚିତ୍ର ୧୦·୭ ଆଇନଷ୍ଟାଇନ ଓ ଡେବାଇଙ୍କର ବିଶିଷ୍ଟତାପ ସୂତ୍ରମାନଙ୍କର ଏଲୁମିନିୟମ ପାଇଁ θ କୁ 398°*k* ନେଇ ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ଫଳ ସହିତ ତୁଳନା]

$$E_0 = 4\pi V_0\left(\frac{1}{\nu_l^3}+\frac{2}{\nu_t^3}\right)\int_0^{\nu_m}\frac{h\nu}{e^{h\nu/kT}-1}\nu^2 d\nu \qquad (୧୦·୨୩)$$

ν_mର ପ୍ରକୃତ ମୂଲ୍ୟ ସ୍ଥିର କରିବା କଷ୍ଟ । ତେଣୁ ଡିବାଇ ଗୋଟିଏ k_g ପରମାଣୁର ମୋଟ ଦୋଳନ ସ୍ତରର ସଂଖ୍ୟା ଅର୍ଥାତ୍ ସମସ୍ତ ପରମାଣୁର ସ୍ୱତନ୍ତ୍ରତା ମାତ୍ରାର ସଂଖ୍ୟା ବା $3N_A$ ସହିତ ସମାନ ହେବ ବୋଲି ଧରିନେଲେ । ଏହି ଅନୁମାନ ଅନୁସାରେ,

$$3N_A = 4\pi V_0\left(\frac{1}{\nu_l^3} + \frac{2}{\nu_t^3}\right)\int_0^{\nu_m} \nu^2 d\nu = \frac{4}{3}\pi V_0\left(\frac{1}{\nu_l^3} + \frac{2}{\nu_t^3}\right)\nu_m^3 \qquad (୧୦.୨୪)$$

ଏହି ସିଦ୍ଧାନ୍ତ ସାହାଯ୍ୟରେ ସମୀକରଣ (୧୦.୨ଗ)କୁ

$$E_0 = \frac{9N_A}{\nu_m^3}\int_0^{\nu_m} \frac{h\nu}{e^{h\nu/kT} - 1}\nu^2 d\nu \qquad (୧୦.୨୫)$$

ଆକାରରେ ଲେଖି ପାରିବା ।

ଏହି ସୂତ୍ରକୁ ଗୁଣାତ୍ମକ ଭାବରେ ବୁଝିବା ପାଇଁ ଏଥିରେ ଥିବା ଚଳ νକୁ ବିମିତହୀନ ଚଳ xରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ କରିବା, ଏଠାରେ $x = h\nu/kT$ ।

ତେଣୁ,

$$\nu = \frac{kT}{h}x \qquad d\nu = \frac{kT}{h}dx.$$

ଆଉ ମଧ୍ୟ ଗୋଟିଏ ନୂତନ ଡିବାଇ ତାପମାତ୍ରା (Θ) ବ୍ୟବହାର କଲେ ସୁବିଧାଜନକ ହେବ । $(\Theta) = h\nu_m/k$, ତେଣୁ $\nu_m = k(\Theta)/h$ । ଏହି ପରିବର୍ତ୍ତିତ ଫଳରେ ସମୀକରଣ (୧୦.୨୫) ହେବ,

$$E_0 = 9R\frac{T^4}{(\Theta)^3}\int_0^{(\Theta)/T} \frac{x^3}{e^x - 1}dx \qquad (୧୦.୨୬)$$

ଓ ବିଶିଷ୍ଟ ତାପ ହେବ,

$$C_v = \frac{dE_0}{dT} = 9R\left[4\left(\frac{T}{(\Theta)}\right)^3\int_0^{(\Theta)/T} \frac{x^3 dx}{e^x - 1} - \frac{(\Theta)}{T}\frac{1}{e^{(\Theta)/T} - 1}\right]$$

(୧୦.୨୭)

ଉଚ୍ଚତର ତାପମାତ୍ରାମାନଙ୍କରେ ସମୀକରଣ (୨୦.୨୭) ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ C_v ପୂର୍ବତନ ମୂଲ୍ୟ 3Rର ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ ହୁଏ । ଅନ୍ୟପକ୍ଷରେ ଅତ୍ୟନ୍ତ ଅଳ୍ପ ତାପମାତ୍ରାମାନଙ୍କରେ ଏକ୍‌ସପୋନେନ୍‌ସିଆଲ୍ ବଡ଼ ହୁଏ, ତେଣୁ ଶେଷ ସଂଖ୍ୟାଟିକୁ ଅବହେଳା କରାଯାଇପାରେ । ସମାକଳର ଉପର ଲିମିଟ୍ଟି ସ୍ଥାନରେ ସାମାନ୍ୟ ଭୁଲ ହେଲେ ମଧ୍ୟ ∞ ନିଆଯାଇପାରେ । ଜଣାଅଛି ଯେ,

$$\int_0^{\infty} \frac{x^3 dx}{e^x - 1} = \frac{\pi^4}{15}$$

ତେଣୁ ସମୀକରଣ (୨୦.୨୭) ମୋଟାମୋଟି ଭାବରେ ହେବ,

$$C_v = \frac{12}{5} \pi^4 R \left(\frac{T}{(H)}\right)^3 = 234 R \left(\frac{T}{(H)}\right)^3 \qquad (୨୦.୨୮)$$

ତେଣୁ, ଡିବାଇ ତାପମାତ୍ରା (H) ତୁଳନାରେ ବହୁତ କମ୍ ତାପମାତ୍ରାରେ, କୌଣସି ସରଳ କଠିନ ପଦାର୍ଥର ପାରମାଣିକ ତାପ ଏହାର ପରମତାପମାତ୍ରାର ଘନ ପ୍ରତି ଅନୁପାତୀ । ଏହା ପରୀକ୍ଷାଦ୍ୱାରା ପ୍ରତିପାଦିତ ହୋଇଅଛି ।

T^3ର ଅନୁପାତରେ ବିଶିଷ୍ଟ ତାପର ପରିବର୍ତ୍ତନ ପରମ ଶୂନ୍ୟଠାରେ ଏନ୍‌ଟ୍ରପି $(\int C_v dT)/dT$ର ଗୋଟିଏ ସସୀମ ମୂଲ୍ୟ ବୁଝାଉଅଛି । ଏହା ନର୍ଷ୍ଟ ତାପ ଉପପାଦ୍ୟ ବା ତାପଗତିକୀର ତୃତୀୟ ନିୟମର ଏକ ଉଦାହରଣ । ପୂର୍ବତନ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ $0°k$ଠାରେ ଗୋଟିଏ କଠିନ ପଦାର୍ଥର ଏନ୍‌ଟ୍ରପି ଋଣଯୁକ୍ତ ଭାବରେ ଅସୀମ ହେବ ।

ମଧ୍ୟବର୍ତ୍ତୀ ତାପମାତ୍ରାମାନଙ୍କ ପାଇଁ ସମୀକରଣ (୨୦.୨୬)ରେ ଥିବା ସମାକଳକୁ ସଂଖ୍ୟା ହିସାବରେ ମୂଲ୍ୟାୟନ କରିବାକୁ ହେବ । ଯେତେବେଳେ ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ଫଳଗୁଡ଼ିକ ସହ ସର୍ବୋତ୍କୃଷ୍ଟ ମେଳକ ପାଇଁ (H) ମୂଲ୍ୟ ବଛାଯାଏ, ସେତେବେଳେ ବହୁ ପଦାର୍ଥ ପାଇଁ ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ମୂଲ୍ୟ ସହ ହିସାବ କରାଯିବା ମୂଲ୍ୟ ଭଲଭାବରେ ମିଳିଥାଏ । ଏ ଭିନ୍ନ ସମୀକରଣ (୨୦.୨୪)କୁ ବ୍ୟବହାର କରି ଯେତେବେଳେ ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ଧ୍ରୁବମାନଙ୍କରୁ (H) ହିସାବ କରାଯାଏ, ସେତେବେଳେ ମଧ୍ୟ ଏହି ମେଳକ ଭଲ ହୋଇଥାଏ । ବହୁ ସ୍ଫଟିକୀୟ ଯୌଗିକ ପଦାର୍ଥ ପାଇଁ ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ଫଳ ସହିତ ଭଲ ମେଳକ ଦେଖାଇବା ଉଦ୍ଦେଶ୍ୟରେ

ପ୍ରତି ସ୍ଫଟିକ କୋଷ ମଧ୍ୟରେ ଆଭ୍ୟନ୍ତରୀଣ ଦୋଳନ ସହ ସଂପୃକ୍ତ ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନଙ୍କ ପଦ ପର ଗୋଟିଏ ବା ଅଧିକ ପଦ ଏଥିସଙ୍ଗେ ଯୋଗ କରାଯାଇପାରେ ।

20·8 ଫୋଟନ ଗ୍ୟାସ :

ଫୋଟନ $B-E$ ବଣ୍ଟନ ନିୟମ ପାଳନ କରେ । $B-E$ ବଣ୍ଟନ ନିୟମକୁ କୃଷ୍ଣବସ୍ତୁ ବିକିରଣ ପ୍ରତି ପ୍ରୟୋଗ କଲେ, ଆମେ ସିଧାସଳଖ ପ୍ଲାଙ୍କଙ୍କ ବିକିରଣ ନିୟମ ପାଇଥାଉ । ଅନୁ: ୨୦·୫ରେ ଆମେ ଦେଖିଥାଉଁ ଯେ, ଫୋଟନ ଗ୍ୟାସ ପାଇଁ $\alpha=0$ ହେବ । ତେଣୁ ସମୀକରଣ (୨୦·୧୫)ରୁ ଆମେ ପାଇବା,

$$\frac{n_i^*}{g_i}=\frac{1}{e^{\epsilon_i/kT}-1} \qquad (୨୦·୧୫କ)$$

ଅନୁ: ୫·୮ରେ ସ୍ଲେଙ୍କ ଅନୁସରଣରେ ଗୋଟିଏ ଆବେଷ୍ଟନୀ ମଧ୍ୟରେ ଆବୃତ୍ତି ν ଓ $\nu+d\nu$ ଅନ୍ତର୍ଗତ ସ୍ଥିର ତରଙ୍ଗର ପ୍ରତି ଏକକ ଘନରେ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ରତା ମାତ୍ରାର ସଂଖ୍ୟା $(8\pi\nu^2d\nu)c^3$ ବୋଲି ଆମେ ସ୍ଥିର କରିଥାଉଁ; ସମୀକରଣ (୫·୯) । ଯେହେତୁ ଗୋଟିଏ ଫୋଟନର ଶକ୍ତି ପରିମାଣ $\in=h\nu$, ପ୍ରତି ଏକକ ଘନରେ $\in_i$ ଓ $\in_i+d\in_i$ ମଧ୍ୟରେ ଅନୁମିତ ଶକ୍ତି ସଂଖ୍ୟା ହେଲା,

$$g_i=\frac{8\pi\in_i^2d\in_i}{h^3c^3} \qquad (୨୦·୨୯)$$

ସେଥିପାଇଁ $\in_i$ ଓ $\in_i+d\in_i$ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରତି ଏକ ଘନରେ ସର୍ବାଧିକ ସାମ୍ଭାବ୍ୟ ଫୋଟନ ସଂଖ୍ୟା ହେଲା,

$$n_i=\frac{8\pi\in_i^2d\in_i}{h^3c^3(e^{\epsilon_i/kT}-1} \qquad (୨୦·୩୧)$$

ପ୍ରତ୍ୟେକ ଫୋଟନର ଶକ୍ତି ପରିମାଣ $h\nu$, ତେଣୁ ପ୍ରତି ଏକକ ଘନରେ ν ଓ $\nu+d\nu$ ଆବୃତ୍ତି ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ଆବୃତ୍ତିମାନଙ୍କ ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ହେଲା,

$$U_\nu d\nu=\frac{n_ih\nu_i}{V}=\frac{8\pi\in_i^2d\in_i}{c^3h^3\,(e^{\epsilon_i/kT}-1)}=\frac{8\pi h\nu^3d\nu}{c^3\,(e^{h\nu/kT}-1)} \qquad (୨୦·୩୧)$$

ଏହା ସମୀକରଣ (୫·୨୧) ସଙ୍ଗେ ସମାନ, ପ୍ଲାଙ୍କଙ୍କ ବିକିରଣ ନିୟମ ଆବୃତ୍ତିଦ୍ୱାରା ଏଥିରେ ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଅଛି ।

20·9 ସମନିଉକ୍ଲିୟସ ବିଶିଷ୍ଟ ଅଣୁ :

ଯେଉଁ ଅଣୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଅନ୍ୟୁନ ଦୁଇଟି ନିଉକ୍ଲିୟସ ସମାନ ଥାଏ, ସେଗୁଡ଼ିକର ଅନେକ ବିଶେଷ ଓ କେତେବେଳେ ଆଶ୍ଚର୍ଯ୍ୟଜନକ ଗୁଣ ପ୍ରକାଶ ପାଇଥାଏ । ତେଣୁ, ଆଗେ ଦେଖାଯାଇଥିଲା ଯେ, ଏହି ପ୍ରକାରର କେତେକ ଅଣୁଙ୍କଠାରୁ ନିଃସୃତ କେତେକ ବର୍ଣ୍ଣାଳୀରେ ଏକାନ୍ତର ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ଦୁର୍ବଳ ହୋଇଥିଲା ବା ଏକବାରେକେ ଲୋପ ପାଇଯାଉଥିଲା । ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକୀର ପ୍ରଚଳନ ପରେ, ହୁଣ୍ଡ ଦେଖାଇଲେ ଯେ, ଏହି ଘଟଣାଟି ନିଉକ୍ଲିୟସର ଘୂର୍ଣ୍ଣନର ପ୍ରଭାବଦ୍ୱାରା ବୁଝାଇ ଦେଇ ହେବ । ଏପ୍ରଭାବ ପ୍ରଧାନତଃ ପରିସଂଖ୍ୟାନାତ୍ମକ । ଏହିସ୍ଥଳରେ ଆଲୋଚନା କଲାବେଳେ ନିଉକ୍ଲିୟସର ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ବା ନିଉକ୍ଲିୟସ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ଛୋଟ ଛୋଟ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ସମ୍ବନ୍ଧରେ ବିଚାର କରିବାର ଆବଶ୍ୟକତା ନାହିଁ । ଏଗୁଡ଼ିକ ପାରମାଣବିକ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ କଳାପରି କେବଳ ସାମାନ୍ୟ ସୂକ୍ଷ୍ମଗଠନ କରିଥାଆନ୍ତି । ଏଠାରେ କେବଳ ଦ୍ୱିପାରମାଣବିକ ଅଣୁ ବିଚାର କରାଯିବ ।

(କ) ଅର୍ଥୋ ଓ ପାରା ଅବସ୍ଥା :

ଗୋଟିଏ ଅଣୁ ପାଇଁ ତରଙ୍ଗଫଳନ ψରେ ଚଳ ଭାବରେ ନିଉକ୍ଲିୟସ୍‌ମାନଙ୍କର ସ୍ଥାନାଙ୍କଗୁଡ଼ିକ ରହିଥିବ, ସାଧାରଣ ଭାବରେ, ନିଉକ୍ଲିୟସର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ପାଇଁ ଏଥିରେ ବ୍ୟବସ୍ଥା ଥିବ । ଅନୁ: ୧୮·୮ରେ I ଓ M_I ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସଂଖ୍ୟାଗୁଡ଼ିକ ବର୍ଣ୍ଣନା କରାଯାଇଅଛି । କୌଣସି ଦୁଇଟି ଏକାପରି ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର I ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ବା ଶୂନ୍ୟ (B–E ପ୍ରକାରର) ହେଲେ ψ ସର୍ବଦା ସ୍ଥାନାଙ୍କମାନଙ୍କରେ ଓ ଘୂର୍ଣ୍ଣନମାନଙ୍କରେ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ହେବ ବୋଲି ଧରିନେଲେ ସମସ୍ତ ଜ୍ଞାତ ବିଷୟସବୁ ସମୀଚୀନ ହେବ, ଆଉ ମଧ୍ୟ I ଯଦି ଅର୍ଦ୍ଧପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା (F–D ପ୍ରକାରର) ହୁଏ, ତରଙ୍ଗଫଳନ ଅସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ହେବ । ଅର୍ଥାତ୍, ଯେକୌଣସି ଦୁଇଟି ଏକାପରି ନିଉକ୍ଲିୟସ ମଧ୍ୟରେ ଯଦି ସ୍ଥାନାଙ୍କଗୁଡ଼ିକ ଓ M_Iର ମୂଲ୍ୟ ସବୁର ବିନିମୟ ହୁଏ, I ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ବା ଶୂନ୍ୟ ହୋଇଥିଲେ ψର ଚିହ୍ନ ବଦଳେନାହିଁ;

କିନ୍ତୁ (ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ହେବାପରି) I ଅର୍ଦ୍ଧପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ହେଲେ ψର ଚିହ୍ନ ବଦଳିଯାଏ ।

ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପରି, ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଶୂନ୍ୟ ହେଉ ହେବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ, ସ୍ଥାନୀୟ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ଓ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ରଭାବରେ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇପାରିବ । ଏହାପରି ହେଲେ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ଦୁଇ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ଘୂର୍ଣ୍ଣନରେ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ହେଲେ ତାଙ୍କର ଅବସ୍ଥା ଗୁଡ଼ିକୁ ଅର୍ଥୋ ଅବସ୍ଥା କୁହାଯାଏ; ଏଗୁଡ଼ିକ ଯଦି ଘୂର୍ଣ୍ଣନରେ ଅସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ହୁଅନ୍ତି, ତେବେ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକୁ ପାରା ଅବସ୍ଥା କୁହାଯାଏ (ଅର୍ଥୋ ଅର୍ଥ ଠିକ୍ ବା ଉଚିତ ବା ସାଧାରଣ; ପାରା ଅର୍ଥାତ୍ ଭିନ୍ନ ଅଳ୍ପ ପରିମାଣରେ ମିଳୁଥିବା ପ୍ରକାର) । M_Iର $2I+1$ ବିଭିନ୍ନ ସାମ୍ଭବ୍ୟ ମୂଲ୍ୟ ହୋଇଥିବାରୁ, ଦୁଇଟି ଏହାପରି ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ପାଇଁ ମୋଟରେ $(2I+1)^2$ଟି ସାମ୍ଭବ୍ୟ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଅବସ୍ଥା ରହିଅଛି । ଏଗୁଡ଼ିକରୁ ଯେଉଁ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ ଉଭୟ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର M_Iର ସମାନ ମୂଲ୍ୟ ହୁଏ, ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ପାଇଁ ସେଗୁଡ଼ିକ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ହୁଏ, ଏହିପରି $2I+1$ ଅବସ୍ଥା ରହିଅଛି । ତେଣୁ, M_Iର ଦୁଇ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ମୂଲ୍ୟର ପ୍ରତ୍ୟେକ ସଂଯୋଗରେ ଗୋଟିଏ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ଓ ଗୋଟିଏ ଅସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ଅବସ୍ଥା ମିଳିପାରିବ । ଏହା ପରିଶିଷ୍ଟ ୧୫ଙ୍କ ରେ ବର୍ଣ୍ଣିତ ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର αβ ସଂଯୋଗର ଅନୁରୂପ । ଏହିପରି $(2I+1)I$ ସାମ୍ଭବ୍ୟ ସଂଯୋଗ ରହିଅଛି । ତେଣୁ ଅସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ବା ପାରା ଅବସ୍ଥାର ସଂଖ୍ୟା $(2I+1)I$ ହେବ, କିନ୍ତୁ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ବା ଅର୍ଥୋ ଅବସ୍ଥାର ମୋଟ ସଂଖ୍ୟା ହେବ,

$$N_o = (2I+1)\,I + (2I+1)$$
$$= (2I+1)\,(I+1)$$

ତେଣୁ ପରିସଂଖ୍ୟାନ ଅନୁପାତ ଆମେ ପାଇବା

$$\frac{N_P}{N_O} = \frac{I}{I+1} \qquad [୧୦·୩୬]$$

ଅର୍ଥୋ ଅବସ୍ଥାର ପରିସଂଖ୍ୟାନାତ୍ମକ ଓଜନ ସର୍ବଦା ଅଧିକ ହେବ; ଯଦି $I = 0$ ହୁଏ, ପାରା ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ପୂରାପୂରି ଲୋପପାଇଯିବ ।

ନିଉକ୍ଲିୟସର ବିନିମୟ ତୁଳନାରେ ψର ସ୍ଥାନୀୟ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟତା ଅର୍ଥାତ୍ କଣିକା-ଗୁଡ଼ିକର ସ୍ଥାନୀୟ ସ୍ଥାନାଙ୍କଗୁଡ଼ିକର ବିନିମୟ ପାଇଁ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ଏହାପରେ ବିଚାର କରିବାକୁ ହେବ । ବେଳେବେଳେ ଏହାକୁ ψର କେବଳ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟତା ବୋଲି କୁହାଯାଇଥାଏ । ଯେତେବେଳେ I ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ହୋଇଥାଏ, ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଜନିତ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ହୋଇଥାଏ ଓ ସ୍ଥାନୀୟ ଅଂଶଟି ମଧ୍ୟ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ହୋଇଥାଏ, ସେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ ତରଙ୍ଗଫଳନର ଆବଶ୍ୟକ ଚମତ୍କାର ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ମିଳିଥାଏ । ଅର୍ଥାତ୍ ସେତେବେଳେ ନିଉକ୍ଲିୟସଗୁଡ଼ିକର ସ୍ଥାନାଙ୍କ ଗୁଡ଼ିକର ବିନିମୟ ଦ୍ୱାରା ψର କୌଣସି ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୁଏନାହିଁ; ବା ଦୁଇଟିଯାକ ଅଂଶ ଅସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ହୋଇପାରନ୍ତି । ତେଣୁ, ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ବା ଶୂନ୍ୟ I ପାଇଁ, ଅର୍ଥୋ ଅବସ୍ଥା ଗୁଡ଼ିକର ସ୍ଥାନୀୟ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ତରଙ୍ଗଫଳନ ଅଛି; କିନ୍ତୁ ପାରା ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକର ସ୍ଥାନୀୟ ଅସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ଫଳନସବୁ ରହିଅଛି । ବିପରୀତକ୍ରମେ ଅର୍ଦ୍ଧପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟକ I ପାଇଁ, ଯେଉଁ-ଗୁଡ଼ିକର ସ୍ଥାନୀୟ ଅସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ତରଙ୍ଗଫଳନ ଅଛି ସେଗୁଡ଼ିକ ଅର୍ଥୋ ଅବସ୍ଥା ଓ ସ୍ଥାନୀୟ ସ୍ଥାନାଙ୍କମାନଙ୍କରେ ପାରା ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ।

ψର ସ୍ଥାନୀୟ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟତା ପୂର୍ବରୁ ନିର୍ଭୁଲଭାବେ ସ୍ଥିର କରିବାପାଇଁ କୌଣସି ସାଧାରଣ ନିୟମ ଦିଆଯାଇପାରିବନାହିଁ । ନିଉକ୍ଲିୟସର ଘୂର୍ଣ୍ଣନକୁ ନେଲେ ψର ଗୋଟିଏ ଉତ୍ତମ ଓ ସାଧାରଣ ଭାବରେ ଗୃହୀତ ଆକାର ହେବ

$$\psi = \psi_e \, \psi_v \, \psi_r$$

ଏଠାରେ ψ_e, ψ_v ଓ ψ_r ଯଥାକ୍ରମେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋନୀୟ, ଦୋଳନ ଓ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ପାଇଁ ନିଆଯାଇଥାଏ । ଅନୁ: ୧୯·୮ ଓ ୧୯·୯ରେ ବର୍ଣ୍ଣିତ ଅଣୁର ଶକ୍ତିକୁ ତିନିଅଂଶରେ ବିଭାଗ କରିବାର ଏହା ଅନୁରୂପ । ଦୋଳନ ଅଂଶ ψ_v ନିଉକ୍ଲିୟସର ବିନିମୟ ପାଇଁ ସର୍ବଦା ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ । ଏହାର ପ୍ରଧାନ କାରଣ ହେଲା, ଏକାପ୍ରକାରର ନିଉକ୍ଲିୟସଗୁଡ଼ିକର ଦୋଳନକୁ ଦୁଇପଟରୁ ଦେଖିଲେ ଏକାପ୍ରକାରର ଦେଖାଯିବ । ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଅଂଶ ψ_r, jର ଯୁଗ୍ମ ମୂଲ୍ୟପାଇଁ ଯୁଗ୍ମ ଓ ଅଯୁଗ୍ମ j ପାଇଁ ଅଯୁଗ୍ମ । କିନ୍ତୁ ψ_e, ଯଦିଓ $\Lambda = 0$ ବିଶିଷ୍ଟ ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କ ପାଇଁ ସାଧାରଣତଃ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ହୋଇଥାଏ, ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର ବିନିମୟ ପାଇଁ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ବା ଅସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ହୋଇପାରେ । ତେଣୁ ଅର୍ଥୋ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ କେତେକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଯୁଗ୍ମ – j ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଅବସ୍ଥା; କିନ୍ତୁ ଅନ୍ୟମାନଙ୍କରେ ଅଯୁଗ୍ମ – j ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ଅର୍ଥୋ ଅବସ୍ଥା ।

ଏ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଗୋଟିଏ ପ୍ରଧାନ ବର୍ଜ୍ୟ ନିୟମ ହେଉଛି, $\Delta I = 0$ । ଏହି ନିୟମ ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ଭିନ୍ନ S ଅବସ୍ଥା ପାଇଁ ଥିବା ନିୟମର ଅନୁରୂପ । ଯେତେ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର କୁଲମ୍ବ କ୍ଷେତ୍ର ସେମାନଙ୍କୁ କୌଣସି ଘୂର୍ଣ୍ଣନହାପେକ୍ଷ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ନଥାଏ, ଅର୍ଥୋ ଓ ପାରା ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ କେବେହେଲେ ଏକତ୍ର ହେବେନାହିଁ; ଗୋଟିଏ ପ୍ରକାରର ଅବସ୍ଥାରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ ଅଣୁ ସେହି ପ୍ରକାରର ସେହି ଅବସ୍ଥାରେ ଚିରକାଳ ରହିଥିବ । ଅର୍ଥୋରୁ ପାରାକୁ ବା ପାରାରୁ ଅର୍ଥୋକୁ ପରିବର୍ତ୍ତନ ଅଣକୁଲମ୍ବ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ବଳ ଲାଗି ହୋଇପାରିବ, କିନ୍ତୁ ଏହି ପ୍ରଣାଳୀ ଅତି ମନ୍ଥର ହେବ, ବୋଧହୁଏ ଏଥିପାଇଁ ମାସ ମାସ ବର୍ଷ ବର୍ଷ ଲାଗିଯିବ ।

(ଖ) ବ୍ୟାଣ୍ଡ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମରେ ପ୍ରଭାବ :

$\Delta I = 0$ ବର୍ଜ୍ୟ ନିୟମଟି ଦୁଇଟି ଅର୍ଥୋ ଅବସ୍ଥା ମଧ୍ୟରେ ବା ଦୁଇଟି ପାରା ଅବସ୍ଥା ମଧ୍ୟରେ ସଂକ୍ରମଣକୁ ସୀମିତ କରିଦିଏ । ପ୍ରତି ପ୍ରକାରର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଅବସ୍ଥା ସହି Iର ପାରିଟି ଉପରେ ନିର୍ଭର କରି ଏକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପ୍ରକାରର ସ୍ଥାନୀୟ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟତା ସଂଯୁକ୍ତ ଥିବାରୁ ଏହା ସ୍ପଷ୍ଟ ଯେ, ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର କମ୍ପନ ପାଇଁ ψ ସ୍ଥାନୀୟ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ଗୋଟିଏ ବିକିରଣାତ୍ମକ ସଂକ୍ରମଣରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇପାରିବନାହିଁ । ଏହି ସର୍ତ୍ତଗୁଡ଼ିକ ଫଳରେ ସମନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ଦ୍ୱିପାରମାଣବିକ ଅଣୁମାନଙ୍କର ବ୍ୟାଣ୍ଡଗୁଡ଼ିକରେ ଦୁଇଟି ପ୍ରଧାନ ବୈଶିଷ୍ଟ୍ୟ ଦେଖାଯାଇଥାଏ ।

ପ୍ରଥମତଃ, ଗୋଟିଏ କେବଳ ଘୂର୍ଣ୍ଣମାନ ବା ଦୋଳନ- ଘୂର୍ଣ୍ଣନୀୟ ସଂକ୍ରମଣରେ ଅଣୁଟିର ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରୋନୀୟ ଅବସ୍ଥାରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ନହେଉଥିବାରୁ, ψର ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ରକ୍ଷା କରିବାପାଇଁ ψ_r ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଗୁଣକଟିର ସ୍ଥାନୀୟ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟତା (କମ୍ପନ ପାଇଁ) ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇ ପାରିବ ନାହିଁ । ତେଣୁ ଏପ୍ରକାରର ସଂକ୍ରମଣ କେବଳ jର ଦୁଇଟି ଯୁଗ୍ମ ମୂଲ୍ୟ ମଧ୍ୟରେ ବା ଦୁଇ ଅଯୁଗ୍ମ ମୂଲ୍ୟ ମଧ୍ୟରେ ଘଟି ପାରିବ । କିନ୍ତୁ ଏପ୍ରକାରର ବ୍ୟାଣ୍ଡ ଲାଇନ ପାଇଁ ଆଉ ଗୋଟିଏ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ବର୍ଜ୍ୟ ନିୟମ ଅଛି, $\Delta j = \pm 1$ । ଏଥିରୁ ଜଣାଯାଉଛି ଯେ, ଦ୍ୱିମେରୁ ବିକିରଣରେ ବର୍ଣ୍ଣର ଦୃଷ୍ଟିରୁ ସମନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ବିଶିଷ୍ଟ ଦ୍ୱିପାରମାଣବିକ ଅଣୁମାନଙ୍କର କୌଣସି କେବଳ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ବା ବା ଦୋଳନ-ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମ ରହି ପାରିବନାହିଁ । ଅନୁ ୧୯.୮ର ଶେଷରେ ଦେଖାଇ

ଦେଖାଯାଉଅଛି ଯେ, ଏପ୍ରକାର ଷ୍ଟେକ୍ ଟ୍ରମର ଅନୁପସ୍ଥିତ ଏବଂ ଅଣୁମାନଙ୍କରେ ଅନେକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋନସ୍ ଅଘୂର୍ଣ୍ଣର ଅନୁପସ୍ଥିତ ବୋଲି ମନେ କରାଯାଇପାରେ । ରମଣ ଷ୍ଟେକଟ୍ରମରେ ଅନ୍ୟପକ୍ଷରେ, ଏପ୍ରକାର ସଂକ୍ରମଣଜନିତ ଆବୃତ୍ତି ପରିବର୍ତ୍ତନ ଘଟିପାରେ କାରଣ ରମଣ ରେଖାମାନଙ୍କ ପାଇଁ ସାଧାରଣ ବର୍ଣ୍ଣ ନିୟମ ହେଲା,

$$\Delta j = \pm 2$$

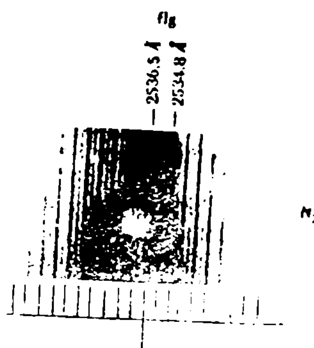
ଏସମସ୍ତ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟର ଦ୍ୱିତୀୟ ପ୍ରଧାନ ଫଳାଫଳ ହେଲା, କୌଣସି ଦଣ୍ଡ ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ ଥିବା ରେଖାମାନଙ୍କର ଆପେକ୍ଷିକ ତୀବ୍ରତା । ସାଧାରଣତଃ କେତେକ ଅଣୁ ଅର୍ଦ୍ଧେ । ଅବସ୍ଥାରେ ଓ କେତେକ ପାର୍ଶ୍ୱ ଅବସ୍ଥାରେ ଥାଆନ୍ତି । ଏଥିରୁ ଗୋଟିଏ ଅବସ୍ଥାରେ କେବଳ jର ଯୁଗ୍ମ ମୂଲ୍ୟମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସଂକ୍ରମଣ ସମ୍ଭବ ହୋଇଥାଏ ଓ ଅଣୁମାନଙ୍କରେ କେବଳ ଅଯୁଗ୍ମ j ମଧ୍ୟରେ ଏହା ସମ୍ଭବ ହୋଇଥାଏ । ତେଣୁ ଯୁଗ୍ମ - j ଓ ଅଯୁଗ୍ମ – jର ଆପେକ୍ଷିକ ତୀବ୍ରତା ଓ ପାର୍ଶ୍ୱ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ଆପେକ୍ଷିକ ବହୁଳତା ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିବ । ଯଦି ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁ ବହୁ ସମୟ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଗୋଟିଏ ଦଣ୍ଡ ତାପମାତ୍ରାରେ ଥାଏ, ଅନୁମାନ କରାଯାଇପାରିବ ଯେ ମୂଳ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ଗୋଟିଏ ବୋଲ୍ଜମ୍ୟାନ ଗୁଣକ $e^{-E/kT}$ ଅନୁପାତରେ ପୂର୍ଣ୍ଣ ହୋଇଥିବ । ତେଣୁ ଗୋଟିଏ ଷ୍ଟେକ୍ଟ୍ରମ ରେଖାର ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ତୀବ୍ରତା (୧) ପ୍ରାରମ୍ଭିକ ଅବସ୍ଥାର ବୋଲ୍ଜମ୍ୟାନ ଗୁଣକକୁ (୨) ସଂକ୍ରମଣ ସମ୍ଭାବନାକୁ ଓ (୩) ପ୍ରାରମ୍ଭିକ ଅବସ୍ଥାର ନିଉକ୍ଲିୟର ପରିସଂଖ୍ୟାନ ଓଜନକୁ (ଏହା jର ପରସ୍ପର ମୂଲ୍ୟପାଇଁ ଏକାନ୍ତରକ୍ରମେ I ବା I+1କୁ ଅନୁପାତୀ) ଅନୁପାତୀ ହେବ । ପ୍ରଥମ ଦୁଇଟି ଗୋଟିଏ ରେଖାରୁ ଅନ୍ୟ ରେଖାକୁ ଗଲେ କ୍ଷିପ୍ରଗତିରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ନହେଉଥିବାରୁ ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ରେଖାସବୁ ଏକାନ୍ତରକ୍ରମେ ତୀବ୍ରତାରେ ବଦଳୁଥାଏ । ଯଦି ତତ୍ତ୍ୱରୁ ପ୍ରଥମ ଦୁଇଟି ପାଇଁ ପାରିମାଣିକ ଭାବେ ବିଚାର କରାଯାଏ, ରେଖାମାନଙ୍କର ଆପେକ୍ଷିକ ତୀବ୍ରତାର ପରିମାପରୁ ନିଉକ୍ଲିୟସ ପାଇଁ Iର ପରିମାଣ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟଭାବରେ ବାହାର କରି ହେବ । ଆଉ ମଧ୍ୟ ଯଦି $I=0$, କୌଣସି ପାର୍ଶ୍ୱ ଅବସ୍ଥା ରହିବନାହିଁ ଓ କୌଣସି ପାର୍ଶ୍ୱ ରେଖା ରହିବ ନାହିଁ, ତେଣୁ ଯୁଗ୍ମ j ବା ଅଯୁଗ୍ମ -j ରେଖାମାନଙ୍କରୁ ଗୋଟିଏ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣଭାବେ ଲୋପେଇଯିବ ।

ଏପ୍ରକାର ଘଟଣାର ଅନେକ ଉଦାହରଣ ଜଣାଅଛି । ଏ ସମସ୍ତରେ Iର ଠିକ୍ ମୂଲ୍ୟ ଅନୁମାନ କରିପାରିଲେ ତାତ୍ତ୍ୱିକ ଫଳ ସହିତ ମିଳିଯାଆନ୍ତି । ଏପ୍ରକାର ପରୀକ୍ଷାରୁ I

ସମ୍ବନ୍ଧରେ ମିଳୁଥିବା ଫଳ ମଧ୍ୟରୁ ବିଶ୍ୱାସଯୋଗ୍ୟ ଫଳ ବୋଲି ମନେ କରାଯାଏ । ତେଣୁ, O_2ର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ବା ଘୋଳନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ବ୍ୟାଣ୍ଡଗୁଡ଼ିକ ନାହିଁ ଏବଂ ଏହାର ରମଣ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ଅଯୁଗ୍ମ J ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ନାହିଁ O । ନାଭିକୀୟ ସ୍ପିନର I = 0 ବୋଲି ସିଦ୍ଧାନ୍ତ କରାଗଲା ।

ବୋଧହୁଏ N_2ର ବୃତ୍ତାନ୍ତ ସବୁଠାରୁ ଅଧିକ ଜଣାଶୁଣା । ଚିତ୍ର ୨୦.୮ରେ ନାଇଟ୍ରୋଜେନର ରମଣ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ତୀବ୍ରତାରେ ଏକାନ୍ତର ପରିବର୍ତ୍ତନ ଥାଇ ନଥାଇ ଥିବା ଫଟୋଗ୍ରାଫ୍ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମଟି ଘୂର୍ଣ୍ଣନର, 2536·5A° ମର୍କ୍ୟୁରି ରେଖା ଦ୍ୱାରା ଉତ୍ତେଜିତ ହୋଇଅଛି । ଏଫ୍. ରେସ୍ଟି ଏହି ଫଟୋଗ୍ରାଫ୍ ଦେଇଅଛନ୍ତି । ନାଇଟ୍ରୋଜେନର ଧନାତ୍ମକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋନୀୟ ବ୍ୟାଣ୍ଡର (3984, 4278, 3884 ଓ 4237A°ଠାରେ) ଅର୍ଣ୍ଣଷ୍ଟେଇନ୍ ଓ ଭାନ୍ ୱିଜକ୍ ଆଗରୁ ଅତି ଯତ୍ନରେ ମାପସବୁ ନେଇଥିଲେ । ବୋଲ୍ଜମ୍ୟାନ ଗୁଣକ ପାଇଁ ଓ ସଂକ୍ରମଣ ସମ୍ଭାବନା ପାଇଁ ସଂଶୋଧନ କରିବା ପରେ ସେମାନେ ଯୁଗ୍ମ – J ଅବସ୍ଥା ଓ ଅଯୁଗ୍ମ J ଅବସ୍ଥା ମଧ୍ୟରେ ଅନୁପାତ ½ର ଅତି ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ ହେବାର ଦେଖିଲେ ।

1928 ମସିହାରେ ଏହି ପରୀକ୍ଷାଗୁଡ଼ିକର ଫଳସବୁ ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥିଲା । ସେସମୟରେ ନାଇଟ୍ରୋଜେନ ପାଇଁ I = 1 ମୂଲ୍ୟଟି "ଅତ୍ୟନ୍ତ ଆଶ୍ଚର୍ଯ୍ୟଜନକ" ଥିଲା ।



[ଚିତ୍ର ୨୦.୮ N_2ର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ରମଣ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ଏକାନ୍ତର ତୀବ୍ରତା]

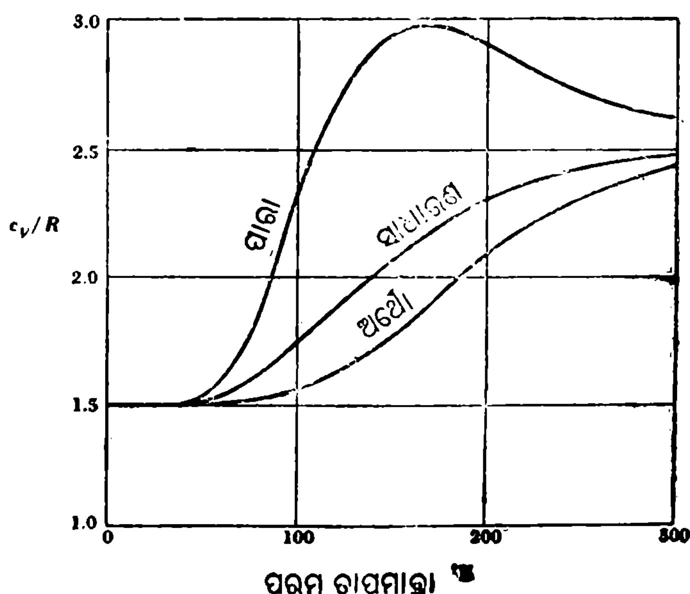
ଯେତେବେଳେ ମନେ କରାଯାଉଥିଲା ଯେ, ନାଇଟ୍ରୋଜେନ ନିଉକ୍ଲିୟସରେ 14ଟି ପ୍ରୋଟନ ଓ 7ଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ରହିଅଛି ଏବଂ ଅଯୁଗ୍ମସଂଖ୍ୟକ ମୌଳିକ କଣିକା I ର ଅର୍ଦ୍ଧ-ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ଆବଶ୍ୟକ କରିବ । ଏ ଅସୁବିଧା ନିଉଟ୍ରନର ଆବିଷ୍କାର ପରେ ଦୂରିଗଲା, ଏହା ପରେ ଜଣାଗଲା ଯେ ନାଇଟ୍ରୋଜେନର ନିଉକ୍ଲିୟସରେ 7ଟି ପ୍ରୋଟନ୍ ଓ 7ଟି ନିଉଟ୍ରନ ରହିଅଛି ।

(ଗ) ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ଭୌତିକ ଗୁଣମାନଙ୍କ ଉପରେ ପ୍ରଭାବ :

ଅର୍ଥୋ ଓ ପାରା ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କର ବିଭିନ୍ନ ପରିସଂଖ୍ୟାନାତ୍ମକ ଓଜନ ହିସାବକୁ ନେଇ କୌଣସି ଭୌତିକଗୁଣ ବିସ୍ତର କରିବାକୁ ହେବ । ବିଶିଷ୍ଟ ତାପ ପରି ଯେଉଁ ଭୌତିକ ଗୁଣ ଅଣୁଗୁଡ଼ିକର ସେମାନଙ୍କର କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ଉପରେ ବଣ୍ଟନ ଉପରେ ନିର୍ଭରଶୀଳ, ସେଗୁଡ଼ିକର ବିସ୍ତରବେଳେ ଏହା କରିବାକୁ ହେବ । ଏ ଦୁଇ ଅବସ୍ଥାରେ ଅଣୁମାନଙ୍କର ବସ୍ତୁତ୍ୱର ପୃଥକୀକରଣ ପ୍ରଶ୍ନ ମଧ୍ୟ ଉଠିପାରେ ।

ହାଇଡ୍ରୋଜେନରେ ଏହି ବିଷୟଗୁଡ଼ିକ ପୁଙ୍ଖାନୁପୁଙ୍ଖ ଭାବରେ ଆଲୋଚିତ ହୋଇଅଛି । ଏହି ଗ୍ୟାସ ଅର୍ଥୋ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ (ଏଥିରେ ଅଣୁଗୁଡ଼ିକ ଅଯୁଗ୍ମ – J ଅବସ୍ଥା ଗୁଡ଼ିକରେ ଘୂରୁଥାଏ) ଓ ପାରାହାଇଡ୍ରୋଜେନ (ଯୁଗ୍ମ - J ଅବସ୍ଥାରେ ଥାଏ)ର ଏକ ମିଶ୍ରଣ-ଶେଷୋକ୍ତ ଅବସ୍ଥା ମଧ୍ୟରେ $J=0$ ଅବସ୍ଥା ମଧ୍ୟ ରହିଥାଏ । ଏଠାରେ ପ୍ରୋଟନପାଇଁ $I=\frac{1}{2}$, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନସ୍ଥ ଅବସ୍ଥା ନିଉକ୍ଲିୟର ଭ୍ରମଣ ପାଇଁ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ; ତେଣୁ ଅର୍ଥୋ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସହ ଅଯୁଗ୍ମ – J ସଂଯୁକ୍ତ । ଯଦି ସମସ୍ତ ମୌଳିକ I, M_I ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ଏକା ଆବୃତ୍ତିରେ ଘଟିଥାନ୍ତେ, ପାରାର ଅର୍ଥୋ ସହିତ ଅନୁପାତ $I/(I+1)=\frac{1}{3}$ ହୁଅନ୍ତା । କୋଠରୀର ତାପମାତ୍ରାରେ ହିସାବ କରାଯାଇଅଛି ଯେ ସାଧାରଣ ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ଶତକଡ଼ା ୨୫.୧ ହେଉଛି ପାରା । ସାଧାରଣ ପରୀକ୍ଷାମାନଙ୍କରେ ପାରା-ଅର୍ଥୋ ଅନୁପାତରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ଘଟିବାପାଇଁ ଯଥେଷ୍ଟ ସମୟ ନଥାଏ; ତେଣୁ ଯୁଗ୍ମ – J ଓ ଅଯୁଗ୍ମ J ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କରେ ପରିମାଣ ସମାନ ନଥିବାରୁ ନିମ୍ନ ତାପମାତ୍ରାମାନଙ୍କରେ ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ବିଶିଷ୍ଟ ତାପରେ ପରିସଂଖ୍ୟାନାତ୍ମକ ଓଜନରେ ତାରତମ୍ୟର କୌଣସି ପ୍ରଭାବ ପଡ଼ିବା ଉଚିତ ।

ଗୋଟିଏ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ଘଟଣା ହେଲା ଯେ, ଏହି ଦୁଇ ଆକାର ମଧ୍ୟରେ ରୂପାନ୍ତରଣକୁ ଚାରକୋଲରେ ଗ୍ୟାସକୁ ଶୋଷଣ କରାଇ ତ୍ୱରାନ୍ୱିତ କରିହେବ, ଏହାପର କଲେ $20°k$ରେ କେତେକ ଘଣ୍ଟା ମଧ୍ୟରେ ପୂରା ପାରା ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ମିଳିଯିବ – $J = 0$ ଅବସ୍ଥାରେ ଦେଖାଯିବ। ଏହି ପ୍ରଣାଳୀରେ ପାରା ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ବିଶେଷ ଗୁଣ ପରୀକ୍ଷା କରି ହେବ। ବିଶେଷ ଭାବରେ ଏହାର ବୈଶିଷ୍ଟ ତାପ ତାପମାତ୍ରାର ଫଳନ ଭାବରେ ପରୀକ୍ଷା କରିହେବ; ତାତ୍ତ୍ୱିକ ବକ୍ରର ସହିତ ଏହି ଫଳାଫଳ ମିଳାଇହେବ। ତାପରେ କେବଳ ଅର୍ଥୋ ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ଗୁଣ ଏହି ଫଳାଫଳକୁ ସାଧାରଣ ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ଫଳାଫଳ ସହିତ ତୁଳନା କରି ସ୍ଥିର କରାଯାଇପାରେ। (ଚିତ୍ର ୨୦·୯)। ଅର୍ଥୋଡ଼ିଉଟେରିୟମ (H_2^2) ମଧ୍ୟ ତିଆରି କରାଯାଇଅଛି; ଏଠାରେ $I = 1$, $N_p/N_o = \frac{1}{2}$ ଅର୍ଥୋ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକର J ମୂଲ୍ୟସବୁ ଯୁଗ୍ମ।



[ଚିତ୍ର ୨୦·୯ ପାରା ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ଓ ସାଧାରଣ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପାଇଁ ଧ୍ରୁବ ଘନରେ ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ବିଶିଷ୍ଟ ତାପର ମୂଲ୍ୟସବୁ। ସେଥିରୁ ଅର୍ଥୋହାଇଡ୍ରୋଜେନର ମୂଲ୍ୟସବୁ ଅନୁମାନ କରାଯାଇଅଛି]

ପ୍ରଶ୍ନାବଳୀ

୧ । (କ) ଗୋଟିଏ କୋଠରୀରେ ସାତଟି ସ୍ଥାନ ସ୍ବୃଣଜଣ ଲୋକ କେତେ ଉପାୟରେ ଅଧିକାର କରି ପାରିବେ ?

(ଖ) ଗୋଟିଏ ବରଯାତ୍ରୀ ଦଳରେ ସ୍ବୃଣଜଣ ଲୋକ ଅଛନ୍ତି । ଯଦି ବର ଓ କନ୍ୟା ସବୁବେଳେ ଦୁଇଟି ମଝି ସ୍ଥାନରେ ରହନ୍ତି, ତେବେ ଜଣେ ଫଟୋ ଉଠାଳୀ ସେମାନଙ୍କୁ ଗୋଟିଏ ଧାଡ଼ିରେ କେତେ ଉପାୟରେ ସଜାଡ଼ି ପାରିବ ?

ଉତ୍ତର : (କ) 840, (ଖ) 48.

୨ । (କ) ଗୋଟିଏ ବିଦ୍ୟାଳୟ 11ଜଣ ସଭ୍ୟଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ କମିଟି ପାଇଁ 5ଜଣ ଲୋକ କେତେ ଉପାୟରେ ବଚ୍ଛାଯାଇ ପାରିବେ ?

(ଖ) ଗୋଟିଏ ପୌର ସଂସ୍ଥାରେ 15ଜଣ ସଭ୍ୟ । ଏଥିରୁ ୨ଜଣ A ଦଳର ଓ 6ଜଣ B ଦଳର । ଯଦି ସଂଖ୍ୟାଧିକ ଦଳର 4ଜଣ ପ୍ରତିନିଧି ରହି ଗୋଟିଏ 7ଜଣିଆ କମିଟି କରାଯାଏ, ତେବେ କେତେ ଉପାୟରେ ଏପରି ବଚ୍ଛାଯାଇ ପାରିବ ?

ଉତ୍ତର : (କ) 464 (ଖ) 2520.

୩ । ଶିଶୁମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଜଣେ ବ୍ଲକ ତିଆରି କରିବାର ପ୍ରଥମରୁ ଏକାପରି କାଠ ଘନସବୁ ତିଆରି କଲେ, ତାପରେ ପ୍ରତି ପାର୍ଶ୍ବରେ ଛଟି ଉଜ୍ଜ୍ୱଳ ରଙ୍ଗରୁ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ଲଗାଇଲେ । ଏହି ପ୍ରଣାଳୀରେ କେତୋଟି ବାର ହେବା ପରି ବ୍ଲକ ତିଆରି କରାଯାଇ ପାରିବ, ହିସାବ କର ।

ଉତ୍ତର : 30.

୪ । ଦୁଇଟି କଣିକା ପାଞ୍ଚଟି ଅବସ୍ଥାରେ କେତେ ଉପାୟରେ ବଣ୍ଟାଯାଇପାରିବେ ବାହାର କର, ଯଦି (କ) କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ପରସ୍ପରଠାରୁ ବାରି ହୋଇପାରିବେ । (ଖ) କଣିକା-ଗୁଡ଼ିକ ବାରିହୋଇପାରିବେ ନାହିଁ ଓ ବୋଷ-ଆଇନଷ୍ଟାଇନ ପରିସଂଖ୍ୟାନ ନିୟମ ମାନନ୍ତି । (ଗ) କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ବାରି ହୋଇପାରିବେ ନାହିଁ ଓ କୌଣସି ଗୋଟିଏ

ଅବସ୍ଥାରେ ମାତ୍ର ଗୋଟିଏ କଣିକା ରହିପାରେ । ପ୍ରତ୍ୟେକଟିପାଇଁ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ଚିତ୍ର କାଟି ସମ୍ଭାବନାଗୁଡ଼ିକ ଦେଖାଅ ।

ଉତ୍ତର : 25, 15, 10.

୫ । ଦେଖାଅ ଯେ, ଗୋଟିଏ କଠିନ ପଦାର୍ଥର ପ୍ରତି କିଲୋମୋଲ୍‌ର ତାପ ଧାରକତ୍ୱ ପାଇଁ ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନଙ୍କ ସୂତ୍ର $kT >> h\nu$ ହେଲାବେଳେ ପ୍ରଚଳନ ମୂଲ୍ୟ 3R ହୋଇଯିବ ।

୬ । 0ଠାରୁ ଆରମ୍ଭ କରି 1eV ତାରତମ୍ୟରେ ଅସଂଖ୍ୟ ସ୍ତରର ଅଛି ବୋଲି ଅନୁମାନ କର । ଛଟୋଟି କଣିକା 6eV. ଶକ୍ତି ନିଜ ମଧ୍ୟରେ ବାଣ୍ଟି ନେଉଛନ୍ତି ବୋଲି ମଧ୍ୟ ଅନୁମାନ କର । ଶେଷରେ ଅନୁମାନ କର ଯେ, ସମସ୍ତ ସାମ୍ୟବ୍ୟ ସଜ୍ଜା ଘଟିବାର ସମ୍ଭାବନା ସମାନ ଓ ପ୍ରତ୍ୟେକ ସଜ୍ଜାରେ ଏକା ସମୟ କଟାଇ ମଣ୍ଡଳଟି ସମସ୍ତ ସାମ୍ୟବ୍ୟ ସଜ୍ଜାରେ ରହିଥାଏ ।

(କ) ଯଦି କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ପରସ୍ପରଠାରୁ ବାରି ନହୁଅନ୍ତି ଓ ବର୍ଜନଶୀଳ ହୁଅନ୍ତି (ପ୍ରତି ସ୍ତରରେ ଗୋଟିଏ ଲେଖାଏଁ) ସ୍ତରମାନଙ୍କରେ ସମସ୍ତ କଣିକାର ସାମ୍ୟବ୍ୟ ସଜ୍ଜା ଦେଖାଅ । ଗୋଟିଏ କଣିକା ପାଇବାର ସମ୍ଭାବନା 0 ସ୍ତରରେ କେତେ ? 2 ସ୍ତରରେ କେତେ ? 4 ସ୍ତରରେ କେତେ ? 6 ସ୍ତରରେ କେତେ ?

(ଖ) ଯଦି କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ପରସ୍ପରଠାରୁ ବାରି ନହୁଅନ୍ତି; କିନ୍ତୁ ବର୍ଜନଶୀଳ ନୁହନ୍ତି), ସମସ୍ତ ସାମ୍ୟବ୍ୟ ସଜ୍ଜା ଦେଖାଅ । ତୁମର ଆଲୋଚନାରୁ (୧) ଛଟୋଟିଯାକ କଣିକାଙ୍କୁ ଏକା ସ୍ତରରେ ପାଇବାର ସମ୍ଭାବନା (୨) ଦୁଇଟି କଣିକାକୁ ଏକା ସ୍ତରରେ ପାଇବାର ସମ୍ଭାବନା ଓ (୩) ବିଭିନ୍ନ ସ୍ତରରେ ଆପେକ୍ଷିକ କଣିକାସଂଖ୍ୟା ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

(ଗ) (ଖ)ରେ ଦିଆଥିବା ପ୍ରଶ୍ନଗୁଡ଼ିକ ବାରି ହେଉଥିବା କଣିକାମାନଙ୍କ ପାଇଁ ସମାଧାନ କର ।

୭ । (କ) ଗୋଟିଏ ଅନଧିକୃତ ଅବସ୍ଥା ଫର୍ମିସ୍ତରର kT, $2kT$, $4kT$, $10kT$ ଓ $100kT$ ଉପରକୁ ଥିଲେ, ତାହା ଅଧିକୃତ ହେବାର ସମ୍ଭାବନା ହିସାବ କର ।

(ଖ) ଫର୍ମିଡିରାକ ପରିସଂଖ୍ୟାନର ଅନୁଗତ ଗୋଟିଏ ମଣ୍ଡଳରେ ଫର୍ମିସ୍ତରର ΔE ତଳକୁ ଥିବା ଗୋଟିଏ ସ୍ତର ଅଧିକୃତ ନହେବାର ସମ୍ଭାବନା ଫର୍ମିସ୍ତରର

ΔE ଉପରକୁ ଥିବା ଗୋଟିଏ ସ୍ତର ଅଧିକୃତ ହେବାର ସମ୍ଭାବନା ସହ ସମାନ, ପ୍ରମାଣ କର ।

୮ । ସୌର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ଯେଉଁ କଳା ଶୋଷିତ ରେଖାକୁ ଫ୍ରାନୋଫର C ଓ F ବୋଲି କହୁଥିଲେ, ସେ ଦୁଇଟି ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ବାମର ଶ୍ରେଣୀର ପ୍ରଥମ ଦୁଇ ରେଖାର ଅନୁରୂପ । ଯଦି ସୂର୍ଯ୍ୟର ପୃଷ୍ଠଦେଶର ତାପମାତ୍ରା 6000°k ହୁଏ, ଏହି ପୃଷ୍ଠଦେଶରେ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ $n=2$ ସ୍ତରମାନଙ୍କରେ ଥିବା ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ଏବଂ ଭୂମ୍ୟବସ୍ଥାରେ ଥିବା ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ସହ ଅନୁପାତ ସ୍ଥିର କର ।

୯ । କାର୍ବନ ଡାଇମଣ୍ଡ ସ୍ଫଟିକ ଅବସ୍ଥାରେ ଥିବାବେଳେ ତା'ର ଡିବାଇ ତାପମାତ୍ରା 2230°k । ଡାଇମଣ୍ଡ ପାଇଁ 20°k ଠାରେ ସ୍ଥିର ଆୟତନ ମୋଲ୍‌ର ତାପଧାରକତ୍ୱ ହିସାବ କର । ଡିବାଇ ତତ୍ତ୍ୱରେ ଥିବା ସର୍ବାଧିକ ଲାଟିସ୍ ଆବୃତ୍ତି ν_m ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର ।

ଉତ୍ତର : 1·4J/kmole−°k, 4·7 × $10^{13}$$H_z$.

୧୦ । ନିମ୍ନ ତାପମାତ୍ରାରେ ଗ୍ରାଫାଇଟ୍‌ର ବିଶିଷ୍ଟ ତାପ T^2ର ଅନୁପାତୀ ଓ ସେହି କାରଣରୁ ଡିବାଇଙ୍କର T^3 ନିୟମର ଏକ ବ୍ୟତିକ୍ରମ । ଏହା ବୁଝାଇବାପାଇଁ ଗ୍ରାଫାଇଟ୍‌ର ଗଠନରେ ସ୍ତର ସ୍ତର କଳ୍ପନା କରାଯାଇଛି ଓ ସ୍ତରମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସାମାନ୍ୟ ବଳ ମଧ୍ୟ ନିଆଯାଇଛି । ଗ୍ରାଫାଇଟ୍ ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ଦ୍ୱିବିମିତିକ ତଳ ଥିବା ଲାଟିସ୍ କଳ୍ପନା କର, ଦେଖାଅ ଯେ, ନିମ୍ନ-ଆବୃତ୍ତି ସ୍ୱର ସଂଖ୍ୟାର ବଣ୍ଟନ $\nu d\nu$ରେ ବଦଳେ ଏବଂ ଏଥିରୁ T^2 ନିୟମ ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ କର ।

ଏକବିଂଶ ଅଧ୍ୟାୟ

କଠିନ ପଦାର୍ଥ-ବିଦ୍ୟୁତରୋଧୀ ଓ ଧାତବ ପଦାର୍ଥ

ପୃଥିବୀର ପୃଷ୍ଠଦେଶର ତାପମାତ୍ରା ଓ ଚାପର ଅବସ୍ଥା ଏପରି ଯେ ସେଠାରେ ବହୁ ପଦାର୍ଥ କଠିନ ଅବସ୍ଥାରେ ମିଳିଥାଏ । ସେମାନଙ୍କର ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଆକାର ଓ ଆୟତନ ଥାଏ । କେତେକ କଠିନ ପଦାର୍ଥ ପାଇଁ ଅସ୍ୱଚ୍ଛତା ଓ ସହସଂଯୋଗତା ପ୍ରାଧାନ୍ୟ ଲାଭ କରିଥାଏ; କିନ୍ତୁ ଧାତବ ପଦାର୍ଥଗୁଡ଼ିକର ଅଧିକ ବଳ ନମନୀୟତା ଓ ପରିବହନତା (ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଓ ତାପୀୟ ଉଭୟ) ସେହି ସ୍ଫଟିକାକାର ଭୂଲମ୍ବ ପାରସ୍ପରିକ ବିସ୍ଥାନ ଏକ ଭିନ୍ନ ପରିବର୍ତ୍ତନଶୀଳତା ଫଳରେ ଘଟିଥାଏ ।

21·1 ସ୍ଫଟିକ :

ଆମେ ଯାହାକୁ ସ୍ଫଟିକାକାର କଠିନ ପଦାର୍ଥ ବୋଲି କହୁବା କେତେକ ବୈଜ୍ଞାନିକ ସେହି ପଦାର୍ଥକୁ କେବଳ କଠିନ ପଦାର୍ଥ ବୋଲି କହନ୍ତି । ଖଣ୍ଡିଏ କାଚ, ଗୋଟିଏ ରୁପା ଇଟା ଓ ଟେଳାଏ କାଠ ମଧ୍ୟରୁ କେବଳ ରୁପାଟି ସ୍ଫଟିକାକାର । ବସ୍ତୁ ମଧ୍ୟରେ କି ପ୍ରକାର ସଜ୍ଜାରେ ରହିଅଛି, ସେଥିରୁ ଏହି ପାର୍ଥକ୍ୟ ଜଣାପଡ଼େ, ଅର୍ଥାତ୍ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ କିପରି ଜ୍ୟାମିତିକ ସଜ୍ଜାରେ ରହିଛନ୍ତି । ଏକ୍ସରେ ସାହାଯ୍ୟରେ କୌଣସି ପଦାର୍ଥରେ ବିଭିନ୍ନ ପ୍ରକାରର ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକର ଆପେକ୍ଷିକ ଅବସ୍ଥିତି ସ୍ଥିର କରିବା ସମ୍ଭବ । ମନେକର ମୁହୂର୍ତ୍ତିକ ପାଇଁ କାଚ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରତ୍ୟେକ ପରମାଣୁକୁ ଆମେ ଗୋଟି ଗୋଟି କରି

ଦେଖି ପାରିବା । ଯଦି ଆମେ ଗୋଟିଏ ସିଲିକନ୍ ପରମାଣୁର ସ୍ଥାନ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରି ତାର ପାଖାପାଖି ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକୁ ପରୀକ୍ଷା କରିବା, ଆମେ ଦେଖିବା ଯେ, ସେମାନେ ଇତସ୍ତତଃ ଭାବରେ ରହି ନାହାନ୍ତି । ସେଠାରେ ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟପ୍ରକାରର ଜ୍ୟାମିତିକ କ୍ରମ ରହିଅଛି । କିନ୍ତୁ ଯଦି ଆମେ ଅନ୍ୟ ସିଲିକନ ପରମାଣୁମାନଙ୍କୁ ଦେଖିବା, ସେଥିରେ ମଧ୍ୟ ସେମାନଙ୍କର ପାଖାପାଖି ପରମାଣୁମାନ ଭିନ୍ନ ପ୍ରକାରର ବିନ୍ୟାସରେ ରହିଥିବେ । କାଚ ପାଇଁ, ସାର ପଦାର୍ଥଟିରେ ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ସଜ୍ଜାକ୍ରମ ନାହିଁ; ଏଥିରେ ଅଳ୍ପ-ପରିସରର ସଜ୍ଜା ରହିଛି, ଦୂର-ପରିସର ସଜ୍ଜା ନାହିଁ । ଏପରି ପଦାର୍ଥର ଆକାର ସ୍ଥିର ରହେ । ଏହାକୁ ଅସ୍ଫଟିକାକାର କଠିନ ପଦାର୍ଥ ବା ଅତିହିମ ତରଳ ପଦାର୍ଥ କୁହାଯାଏ । ସ୍ଫଟିକାକାର କଠିନ ପଦାର୍ଥ ଦୂର-ପରିସର ସଜ୍ଜା ଦେଖାଇଥାଏ; ଗୋଟିଏ ବଡ଼ ଏକକ ସ୍ଫଟିକରେ ଏହା ସଜ୍ଜା ଅସୂତ ଅସୂତ ପାରମାଣବିକ ବ୍ୟାସ ସହିତ ସମାନ ଦୂରତା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ବ୍ୟାପିଥାଏ ।

ସ୍ଫଟିକମାନଙ୍କ ବିଷୟରେ ଆଲୋଚନା କରିବାପାଇଁ ସ୍ଥାନୀୟ ଲାଟିସ୍ (ବିନ୍ୟାସ)ର ଧାରଣା ଦେବା ସୁବିଧାଜନକ । ସ୍ଥାନୀୟ ଲାଟିସ୍ କହିଲେ ଆମେ ବୁଝୁ ଯେ, ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ସରଳରେଖା ପରସ୍ପର ସହିତ ଛନ୍ଦାଛନ୍ଦି ହୋଇ ଏପରି ରହିନ୍ତି ଯେ କୌଣସି ସ୍ଥାନ ବାଦ ନଯାଇ, ସମସ୍ତ ସ୍ଥାନ ଏକାପରି ଘନଗୁଡ଼ିକରେ ବାଣ୍ଟି ହୋଇଯାଇଥାଏ । ଏହି ରେଖା-ଗୁଡ଼ିକ ପରସ୍ପରକୁ ଛେଦ କରିଥିବା ବିନ୍ଦୁଗୁଡ଼ିକ ଲାଟିସ୍ ବିନ୍ଦୁ କୁହାଯାଏ । ଏହି ପ୍ରତି ଲାଟିସ୍ ବିନ୍ଦୁ ସହିତ ସଂଯୁକ୍ତ ହୋଇ ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁ ବା ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ଏକାପରି ଏକ ସମାହାର ରହିଥାଏ । ପ୍ରତି ସ୍ଫଟିକ ପାଇଁ ଏହିପରି ଗୋଟିଏ ଲାଟିସ୍ ବିନ୍ଦୁ ଥାଏ, ଏପ୍ରତ୍ୟେକରେ ହୁଏ ତ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁ ଥାନ୍ତି ବା ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ଗୋଟିଏ ଦଳ ଥାଏ । ଏହାକୁ ସ୍ଫଟିକର ଭିତ୍ତି କୁହାଯାଏ ।

1848 ମସିହାରେ ବ୍ରେଭାଇସ୍ ଦେଖାଇଲେ ଯେ, ମୋଟରେ 14ପ୍ରକାରର ସାମ୍ଭବ୍ୟ ସ୍ଥାନୀୟ ଲାଟିସ୍ (ଚିତ୍ର ୨୯.୧) ରହିଅଛି । ଏଥିରୁ ଆମେ ପ୍ରଧାନତଃ ତିନୋଟି ସମଘନ ସହିତ ସମ୍ପୃକ୍ତ । ଏଗୁଡ଼ିକ ଭୌତ୍ୟବଶତଃ ସରଳତମ । ଯକୌଣସି ପ୍ରକାରର ଲାଟିସ୍ ପାଇଁ



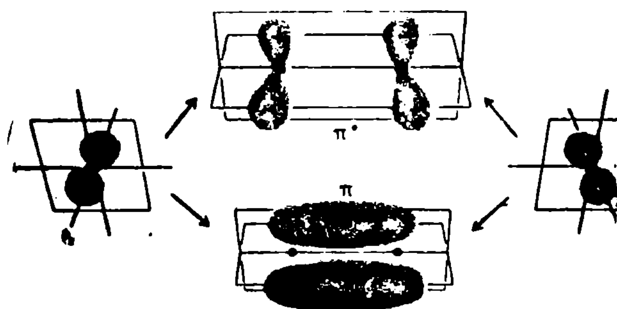
ତିନୋଟି ମୌଳିକ ସ୍ଥାନାନ୍ତରଣ ଭେକ୍ଟର $\vec{a}$, $\vec{b}$ ଓ $\vec{c}$ ରହିଅଛି । ଏହି ଭେକ୍ଟରଗୁଡ଼ିକ କ୍ଷୁଦ୍ରତମ ଭେକ୍ଟର ଯେଉଁଗୁଡ଼ିକକୁ କୌଣସି ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟାରେ ଗୁଣନ କରି $n_1 \vec{a}$, $n_2 \vec{b}$ ଓ

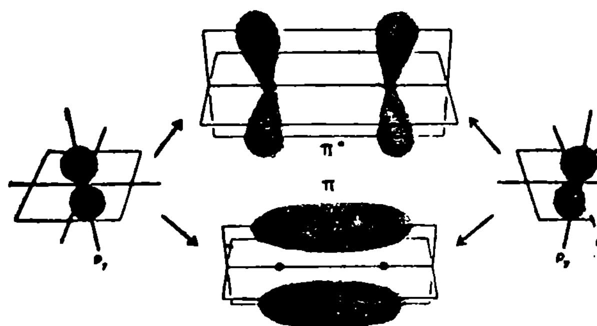
$\vec{n_3 c}$ ଦୂରତା ନେଲେ, ସେହି ଦୂରତାରେ ଯେଉଁ ପରମାଣୁଟି ମିଳିବ, ତାହା ପ୍ରଥମରୁ ବାଛିଥିବା ପରମାଣୁ ସହ ସମାନ ପରିବେଶ ମଧ୍ୟରେ ରହିଥିବ । ତେଣୁ ଯେକୌଣସି ଦୁଇଟି ଲାଟିସ୍ ବିନ୍ଦୁ ଗୋଟିଏ ସ୍ଥାନାନ୍ତରଣ ଭେକ୍ଟର $T = n_1 \vec{a}, + n_2 \vec{b} + n_3 \vec{c}$ ଦ୍ୱାରା ଯୋଗ କରାଯାଇପାରିବ । ଘନଘନ ମଣ୍ଡଳଗୁଡ଼ିକ ସରଳତମ, କାରଣ ଏଠାରେ ତିନି $\vec{a}$, $\vec{b}$ ଓ $\vec{c}$ ଭେକ୍ଟର ପରିମାଣରେ ସମାନ ଓ ପରସ୍ପର ପ୍ରତି ସମକୋଣରେ ରହିଥାନ୍ତି ।

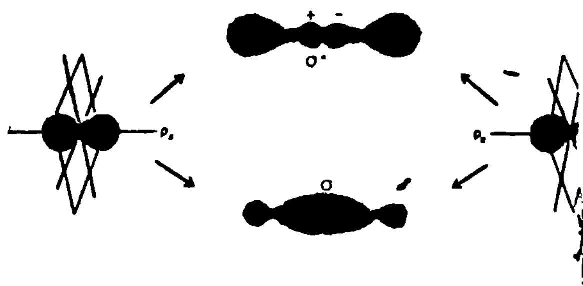
ଥରେ $\vec{a}, \vec{b}$, ଓ $\vec{c}$ କଳ୍ପିତ ହୋଇଗଲେ ସେଗୁଡ଼ିକୁ ବ୍ୟବହାର କରି କଳ୍ପିତ ବିନ୍ଦୁଗୁଡ଼ିକ ସ୍ଥିର କରିହେବ । (୧) ଗୋଟିଏ କ୍ରିଷ୍ଟାଲ କୋଷ ମଧ୍ୟରେ ଯେକୌଣସି ବିନ୍ଦୁ ସ୍ଥିର କରିବା, (୨) କୌଣସି ଭେକ୍ଟରର ଦିଗ ଓ (୩) କ୍ରିଷ୍ଟାଲ ମଧ୍ୟରେ କୌଣସି ସମତଳର ଅବସ୍ଥିତି । ଯଥା :– $(1 \frac{1}{3} \frac{1}{2})$ ମୂଳବିନ୍ଦୁଠାରୁ $1\vec{a}$, $\frac{1}{3}\ \vec{b}$, $\frac{1}{2}\ \vec{c}$ ରେ ଗୋଟିଏ ବିନ୍ଦୁ ବୁଝାଉଛି । ଚିତ୍ର ୨୯.୧ର ଗଣ୍ଡିକେନ୍ଦ୍ରିକ କୋଷର ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ (000), (100), (010), (001), (110), (101), (011), (111) ଓ $(\frac{1}{2} \frac{1}{2} \frac{1}{2})$ଠାରେ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ମିଳିଥାଏ ।

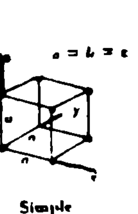
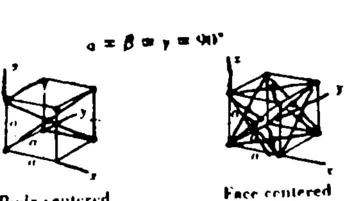
ଗୋଟିଏ ଭେକ୍ଟରର ଦିଗ ସ୍ଥିର କରିବାପାଇଁ ଆମେ ଭେକ୍ଟରଟିର ଶେଷ ଅଂଶକୁ ମୂଳବିନ୍ଦୁରେ ରଖି ସ୍ଥାନାନ୍ତର କରିଦେବା ଓ ଭେକ୍ଟରରେଖା ଯେଉଁ ସ୍ଥାନାଙ୍କରେ ପ୍ରଥମେ ପ୍ରଥମ ଲାଟିସ୍ ବିନ୍ଦୁର ସେହି ସ୍ଥାନାଙ୍କ ସବୁ ହେବ । ଯଥା—y ଅକ୍ଷ [010] ଦିଗରେ ରହିଅଛି; କିନ୍ତୁ [210] ଦିଗରେ $\vec{a}$ ଓ $\vec{b}$ ଦ୍ୱାରା ହେଉଥିବା ସମତଳ ରହିଅଛି ଏବଂ ଏହା ଦୁଇଟି $\vec{a}$ ଓ ଗୋଟିଏ $\vec{b}$ ର ଅନୁରୂପ । ଗୋଟିଏ ଗଣ୍ଡିକେନ୍ଦ୍ରିକ ଘନର କେନ୍ଦ୍ର ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ପରମାଣୁ ଘନର କୋଣଠାରୁ [111] ଦିଗରେ ଏବଂ ଏହାପରି ଅନ୍ୟସବୁ ହୋଇଥାଏ ।

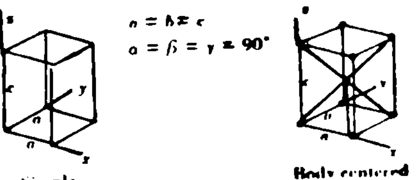
କ୍ରିଷ୍ଟାଲ ମଧ୍ୟରେ ସମତଳ ସବୁ ସାଧାରଣତଃ ମିଲର ସୂଚକମାନଙ୍କ ସାହାଯ୍ୟରେ ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ । ଗୋଟିଏ ସମତଳର ମିଲର ସୂଚକଗୁଡ଼ିକ ସ୍ଥିର କରିବାପାଇଁ ଆମେ

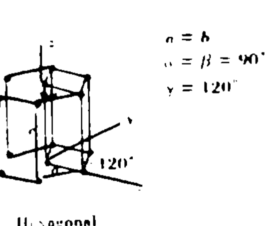

π*
π

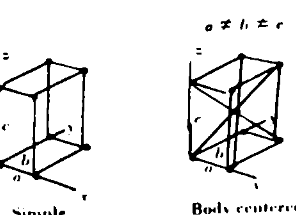
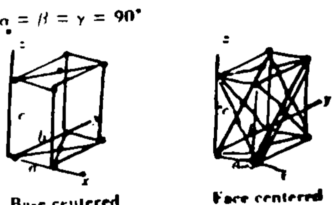

π*
π
p_y
p_y

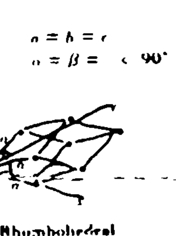

+ −
σ*
p_x
p_x
σ

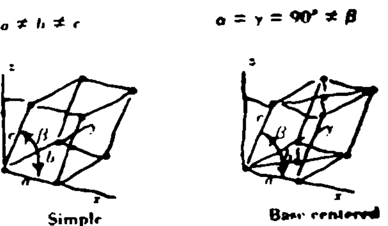










[ଚିତ୍ର ୨୯.୧ 14ଟି ବ୍ରାଭେସ୍ ବା ସ୍ଥାନୀୟ ଲାଟିସ୍ । ଯେଉଁକୋଷଗୁଡ଼ିକ ମୋଟା ରେଖାରେ ଦେଖାଯାଇଛି, ସେଗୁଡ଼ିକ ସାଧାରଣରେ ବ୍ୟବହୃତ ଏକକ କୋଷ ଏଗୁଡ଼ିକୁ ଉପଯୁକ୍ତ ସ୍ଥାନାନ୍ତରଣ ଦ୍ୱାରା ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଲାଟିସ୍ ତିଆର କରି ହେବ । b ଓ c ମଧ୍ୟରେ କୋଣ α ଇତ୍ୟାଦି]

ନିମ୍ନଲିଖିତ ପ୍ରଣାଳୀ ଅନୁସରଣ କରିବା (୧) ସମତଳର ଅକ୍ଷମାନଙ୍କରେ ଛେଦବିନ୍ଦୁଗୁଡ଼ିକ $\vec{a}$, $\vec{b}$, ଓ $\vec{c}$ରେ ସ୍ଥିର କରିବା (୨) ଏହି ଛେଦ ବିନ୍ଦୁଗୁଡ଼ିକର ବ୍ୟୁତ୍କ୍ରମ ଆମେ କ୍ରମରେ ନେବା (୩) ଆମେ ଲଘୁତମ ସାଧାରଣ ହର ସ୍ଥିର କରି ପ୍ରତ୍ୟେକକୁ ଏଥିରେ ଗୁଣନ କରିବା । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, $4\vec{a}$, $6\vec{b}$ ଓ $2\vec{c}$ ଛେଦବିନ୍ଦୁ ଥିବା ସମତଳ ପାଇଁ ଉପଯୁକ୍ତ ବ୍ୟୁତ୍କ୍ରମଗୁଡ଼ିକ ହେଲା $\frac{1}{4}, \frac{1}{6}$ ଓ $\frac{1}{2}$ । ଏହାର ଲଘୁତମ ସାଧାରଣ ହର ହେଲା 12 ଓ ମିଲର୍ ସୂଚକଗୁଡ଼ିକ (326) ଆକାରରେ ଲେଖାଯାଏ । ଯେତେବେଳେ ଛେଦବିନ୍ଦୁ ଅନନ୍ତରେ ରହେ, ଅନୁରୂପ ସୂଚକ ଶୂନ୍ୟ ହୁଏ; ତେଣୁ ଗୋଟିଏ (100) ସମତଳ x—ଅକ୍ଷକୁ ଅଭିଲମ୍ବ ହୁଏ; କିନ୍ତୁ ଗୋଟିଏ (001) ସମତଳ z—ଅକ୍ଷକୁ ଲମ୍ବ ଭାବରେ ରହେ । ଯେତେବେଳେ ସୂଚକମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ଗୋଟିଏ ବିଯୁକ୍ତ ହୁଏ, ସୂଚକଟିର ଉପରେ ଗୋଟିଏ ବିଯୁକ୍ତ ଚିହ୍ନ ଦେବା ପ୍ରଚଳିତ ପ୍ରଥା । ତେଣୁ ଯଦି ଛେଦବିନ୍ଦୁଗୁଡ଼ିକ - $4\vec{a}$, $2\vec{b}$, $-2\vec{c}$, ହୁଅନ୍ତି, ମିଲର୍ ସୂଚକଗୁଡ଼ିକ ହେବେ $(1\bar{2}\bar{2})$ । $\frac{1}{2}\vec{a}$, $\frac{1}{2}\vec{b}$ ∞ ଛେଦ ଥିବା ସମତଳର ପୂର୍ବବର୍ଣ୍ଣିତ ନିୟମାନୁସାରେ ମିଲର୍ ସୂଚକଗୁଡ଼ିକ (220) । କେତେକ ବୈଜ୍ଞାନିକ ମିଲର୍ ସୂଚକଗୁଡ଼ିକୁ ଏକା ଅନୁପାତରେ ଥିବା କ୍ଷୁଦ୍ରତମ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟାଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରନ୍ତି ଓ ଏହାକୁ (110) ସମତଳ ବୋଲି କହନ୍ତି । ଯେହେତୁ (220) ସମତଳଟି (110) ସମତଳଗୁଡ଼ିକୁ ସମାନ୍ତର, ସମତଳଟିର ଅବସ୍ଥାନ ନେଇ କୌଣସି ଭ୍ରାନ୍ତି ଏହାଦ୍ୱାରା ଉପୁଜିବ ନାହିଁ । (220) ଲେଖାପ୍ରଣାଳୀ ବ୍ୟବହାର କଲେ ବୁଝାଯିବ ଯେ, ଏଥିରେ ଥିବା ସମତଳର ଛେଦଗୁଡ଼ିକ $\frac{1}{2}\vec{a}$ ଓ $\frac{1}{2}\vec{b}$ ।

21.2 କଠିନ ପଦାର୍ଥରେ ବନ୍ଧନ :

ସ୍ଫଟିକରେ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ଯେଉଁ ବନ୍ଧନଦ୍ୱାରା ବାନ୍ଧି ହୋଇ ସେମାନଙ୍କର ସ୍ଥାନରେ ରହିଥାନ୍ତି, ସେଗୁଡ଼ିକ ମୂଳତଃ ବୈଦ୍ୟୁତିକ, କିନ୍ତୁ କେବଳ ଆୟନୀୟ ବନ୍ଧନ ଛାଡ଼ିଦେଲେ ପ୍ରଧାନତଃ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଯାନ୍ତ୍ରିକ ବିଜ୍ଞାନରୁ ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଥାଏ । ଅନ୍ତଃପାରମାଣବିକ ବନ୍ଧନଗୁଡ଼ିକୁ ବିସ୍ତାର କରିବାପାଇଁ ଆମେ ପାଞ୍ଚଟି ଆଦର୍ଶ ପ୍ରକାରର ବନ୍ଧନ ବିଷୟରେ ବିସ୍ତାର କରିବା । ଆୟନୀୟ, ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ସହଯୋଜକ, ଧାତବ ଓ ଆଣବିକ ।

ପ୍ରାରମ୍ଭରୁ ସ୍ପଷ୍ଟ କରିଦେବାକୁ ହେବ ଯେ, ଏପ୍ରକାର ବାଛିବା ମନଇଚ୍ଛା କରାଯାଇଅଛି; ଏହି ଆଦର୍ଶ ପ୍ରକାରରୁ ଦୁଇ ବା ତତୋଧିକ ବନ୍ଧନରେ ମିଶିକରି କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହୋଇଥାଏ ।

(କ) ଆୟନୀୟ ବନ୍ଧନ : ଗୋଟିଏ ଯୁକ୍ତ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥରୁ ଗୋଟିଏ ବିଯୁକ୍ତ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥକୁ ଗୋଟିଏ ବା ଅଧିକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗୁଳିଯିବା ଦ୍ୱାରା ଗୋଟିଏ ଯୁକ୍ତ ଓ ଗୋଟିଏ ବିଯୁକ୍ତ ଆୟନ ଜନ୍ମ ଲଭି ଆୟନୀୟ ବନ୍ଧନ ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଥାଏ । ବିପରୀତ ଧର୍ମଯୁକ୍ତ ଆୟନଗୁଡ଼ିକ ମଧ୍ୟରେ ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ ଆକର୍ଷଣ ଫଳରେ ବନ୍ଧନଟି ଜାତ ହୋଇଥାଏ । ଏହାଦ୍ୱାରା ପ୍ରତି ପରମାଣୁ ପାଇଁ କେତେକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ଭୋଲ୍ଟ ମିଳିଥାଏ । ଆୟନୀୟ ସ୍ଫଟିକଗୁଡ଼ିକ ସାଧାରଣତଃ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଭାବରେ ଦୋଷୀ, ଯେତେବେଳେ କୌଣସି ଅଜୈବୀୟ ଦ୍ରାବକ ମଧ୍ୟରେ ଏହା ଦ୍ରବୀଭୂତ ହୋଇଯାଏ ଏହା ସୁପରିବାହୀ ଦ୍ରବଣ ଗଠନ କରିଥାଏ । ଏଗୁଡ଼ିକ ସାଧାରଣତଃ ସ୍ୱଚ୍ଛ, ବେଳେବେଳେ ଗୋଟିଏ ବା ଦୁଇ ଆୟନର ଗୁଣାନୁଯାୟୀ ଶୋଷଣ ଫଳରେ ରଙ୍ଗିନ ଦେଖାଯାଇଥାଏ । ଏଗୁଡ଼ିକରୁ ଅନେକ କଠିନ ଓ ଭଙ୍ଗୁର, ତରଳାଙ୍କ ମଧ୍ୟ ବହୁତ ଉଚ୍ଚ । ବହୁ ଉଚ୍ଚ ତାପମାତ୍ରାରେ ଆୟନଗୁଡ଼ିକର ବିସରଣଦ୍ୱାରା ଏଗୁଡ଼ିକ ପରିବହନ କରିଥାନ୍ତି ।

(ଖ) ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ବନ୍ଧନ : ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ବନ୍ଧନ ଏକ ବିଶେଷ ଧରଣର ଆୟନୀୟ ବନ୍ଧନ । ଏଥିରେ ଗୋଟିଏ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ଉଦ୍ଧକ୍ଷୁପ୍ତର (H^+ ବା D^+) ଦୁଇଟି ବିଯୁକ୍ତ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ପରମାଣୁକୁ ପ୍ରାୟ 0·1eV ପରିମାଣର ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତିରେ ବାନ୍ଧି ରଖିଥାଏ । ଅଧିକାଂଶ ଆୟନଠାରୁ ଏହାର ପ୍ରଭେଦ ହେଲା, H^+ର କେବଳ ଦୁଇଟିପାଖ ବିଯୁକ୍ତ ଆୟନ ରହିପାରିବ କାରଣ ପ୍ରୋଟନର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ କେବଳ $10^{-15}m$ ହୋଇଥିବ । (ଅନ୍ୟ ସବୁ ଆୟନର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ଏହାର ହଜାର ହଜାର ଗୁଣ) । ମୋଟାମୋଟି ଭାବେ ବିଚାର କଲେ, ପ୍ରତି ଆୟନକୁ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ଗୋଲକ ବୋଲି ନେଇ ଗୋଟିଏ କଠିନ ପଦାର୍ଥରୁ ଗୁଡ଼ିଏ ଗୋଲକ ପରସ୍ପରକୁ ଲାଗି ଲାଗି ରହିଛନ୍ତି ବୋଲି ଧରିନେବା । ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନକୁ ଛୁଇଁ ଦୁଇଟି ବିଯୁକ୍ତ ଆୟନ ରହି ପାରିବ, କିନ୍ତୁ ଗୋଟିଏ ସାଧାରଣ ଯୁକ୍ତ ଆୟନର ଛଅଟି ବା ଆଠୋଟି ପଡ଼ୋଶୀ ରହିଥାନ୍ତି । ବରଫରେ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ବନ୍ଧନ ପ୍ରଧାନ; ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ଫ୍ଲୋରାଇଡ୍ ବହୁତ ଜୈବିକ ଅଣୁରେ ଓ ବିଶିଷ୍ଟ ଭାବରେ ପ୍ରୋଟିନରେ ଏହି ବନ୍ଧନ ପ୍ରଧାନ ହୋଇଥାଏ ।

(ଗ) ସହସଂଯୋଜକ ବନ୍ଧନ : ସହସଂଯୋଜକ ବନ୍ଧନକୁ ତା'ର ଆଦର୍ଶ ଅର୍ଥରେ ବୁଝିଲେ ଦୁଇଟି ଏକାପରି ପରମାଣୁ ମଧ୍ୟରେ ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପରସ୍ପର ବିପରୀତ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଭାଗ ଅଂଶ ଗ୍ରହଣ କରୁଥିବେ । ଗୋଟିଏ ଡାଏମଣ୍ଡ କ୍ରିଷ୍ଟାଲରେ ପ୍ରତ୍ୟେକ କାର୍ବନ ପରମାଣୁ ଏହାର ଚାରୋଟି ପଡ଼ୋଶୀ ସହିତ ସହସଂଯୋଜକ ବନ୍ଧନ ଘଟାଇଥାଏ । ସହସଂଯୋଜକ ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ସାଧାରଣତଃ କେତେକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଭୋଲ୍ଟ ହୋଇଥାଏ । କ୍ରିଷ୍ଟାଲଗୁଡ଼ିକ ରୋଧୀ ବା ଅର୍ଦ୍ଧପରିବାହୀ ହୋଇଥାନ୍ତି ଓ ସେମାନଙ୍କର ତରଳାଙ୍କ ଉଚ୍ଚ ହୋଇଥାଏ । ଏଗୁଡ଼ିକ ଅତ୍ୟନ୍ତ କଠିନ ହୋଇ ରହେ ଓ ଫାଟ ଫାଟ ରହି ଯାଇଥାଏ । ପିରିଅଡ଼ିକ୍ ଟେବୁଲର IV ଦଳର ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥଗୁଡ଼ିକ ଆଦର୍ଶ ସହସଂଯୋଜକ ବନ୍ଧରେ ବାନ୍ଧି ହେବାର ଉତ୍କୃଷ୍ଟତମ ହୋଇଥାନ୍ତି । III – V ଓ *II* – V*I* ଯୌଗିକ ପଦାର୍ଥଗୁଡ଼ିକର ବନ୍ଧନ ସହସଂଯୋଜକ ଓ ଆୟନୀୟ ବନ୍ଧନର ମିଶ୍ରଣ ।

(ଘ) ଧାତବ ବନ୍ଧନ : ଗୋଟିଏ କ୍ରିଷ୍ଟାଲର ସମସ୍ତ ପରମାଣୁ ବାହ୍ୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକୁ ଭାଗ କରିବାଦ୍ୱାରା ଧାତବ ବନ୍ଧନ ଜାତ ହୋଇଥାଏ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ତମ୍ବାରେ ସମସ୍ତ କ୍ରିଷ୍ଟାଲଟିକୁ ପ୍ରତି ପରମାଣୁ ମୋଟାମୋଟି ଭାବରେ ଗୋଟିଏ ଲେଖାଏଁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଦେଇଥାନ୍ତି । ଏହି ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଧାତବ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ସେମାନଙ୍କ ସ୍ଥାନରେ ଆୟନଭାବରେ ରୁଦ୍ଧ ଆୟନମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଗତି କରି ଏକ ସର୍ବବ୍ୟାପୀ "ଅଠା" ଭାବରେ ସେଗୁଡ଼ିକୁ ବାନ୍ଧି ରଖେ । ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଲାଗି ଧାତବ କ୍ରିଷ୍ଟାଲଗୁଡ଼ିକ ଅସ୍ୱଚ୍ଛ ଓ ଅତିବେଶୀ ପ୍ରତିଫଳନଶୀଳ । ଏଗୁଡ଼ିକ ଉତ୍ତମ ପରିବାହକ ଓ ତାପମାତ୍ରା କମାଇବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଏଗୁଡ଼ିକର ପ୍ରତିରୋଧ କମିଯାଇଥାଏ । ଉତ୍ତମ ତାପ ପରିବହନଶୀଳତା ଏହି ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ଲାଗି ଘଟିଥାଏ । ସାଧାରଣ ଧାତୁଗୁଡ଼ିକର କେତେକ ପରିମାଣରେ ଉଚ୍ଚ ତରଳାଙ୍କ ଥାଏ, ଯାନ୍ତ୍ରିକ ଭାବରେ ଏଗୁଡ଼ିକ ଟାଣ, ଭଙ୍ଗୁର ନହୋଇ ନମନୀୟ । ଏମାନଙ୍କର ବନ୍ଧନଶକ୍ତି ସାଧାରଣତଃ ପ୍ରତି ପରମାଣୁ ପାଇଁ କେତେକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଭୋଲ୍ଟ ହୋଇଥାଏ ।

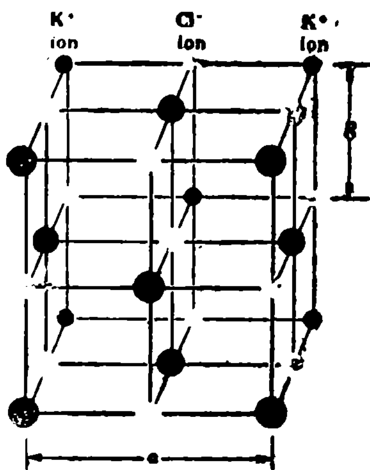
(ଙ) ଆଣବିକ ବନ୍ଧନ: ନୋବଲ-ଗ୍ୟାସର ପରମାଣୁମାନଙ୍କରୁ ଓ ମିଥେନ ପରି ଅନେକ ଜୈବିକ ଅଣୁରୁ କଠିନ ପଦାର୍ଥ ଆଣବିକ ବନ୍ଧନଦ୍ୱାରା ମିଳିଥାଏ; ପୂର୍ବବର୍ଣ୍ଣିତ ଚାରୋଟି ଶ୍ରେଣୀର ବନ୍ଧନଠାରୁ ଏହାର ପ୍ରଭେଦ ହେଲା ଏହି ଯେ, ସେଗୁଡ଼ିକରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ

ଗୁଡ଼ିକ ସ୍ଥିର ବିନ୍ୟାସ ସ୍ଥଳରେ ବା ଉଭୟରେ ବାନ୍ଧି ହୋଇ ରହନ୍ତି, ଆଣବିକ ବନ୍ଧନରେ କୌଣସି ସ୍ପନ୍ଦର ବିନ୍ୟାସ ବା ସ୍ଥାନାନ୍ତରଣ ହୁଏନାହିଁ । ବରଂ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଭାବରେ ସୁଷମ ଅଣୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସ୍ୱଳ୍ପପରିସର ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଫଳରେ ଏହି ବନ୍ଧନ ଜାତ ହୋଇଥାଏ । ଏପରିକି ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁ, ଯଥା—ନିୟନ ଓ ଆର୍ଗନ, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ-ଗୁଡ଼ିକ ଗୋଲକାକାର ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ହୋଇ ବାଣ୍ଟି ରହିଥିଲେ ମଧ୍ୟ, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକର ଗତି ଫଳରେ ତାତ୍କାଳିକ ସାମାନ୍ୟ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଦ୍ୱିମେରୁ ଅଘୂର୍ଣ୍ଣ ଲାଭ କରିଥାଏ । ଏହା ପଡ଼ୋଶୀ ଅଣୁପାଖରେ ଏକ ସାମାନ୍ୟ ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ର ସୃଷ୍ଟି କରିଥାଏ । ଏହା ପରେ ଅଣୁଟିକୁ ପାର୍ଶ୍ୱୀକୃତ କରିଦେବ । ଫଳରେ ଏକ ଆକର୍ଷଣୀୟ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ସୃଷ୍ଟି ହେବ । ଦ୍ୱିମେରୁ ଅଘୂର୍ଣ୍ଣଗୁଡ଼ିକ ସହ ସମ୍ପୃକ୍ତ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ଏହି ଅଘୂର୍ଣ୍ଣଗୁଡ଼ିକର ବର୍ଗ ପ୍ରତି ଓ ଅନ୍ତରର ପ୍ରତି ଲୋମ ଷଷ୍ଠ ଶକ୍ତିକୁ ଅନୁପାତୀ ହେବ । ଦ୍ୱିମେରୁ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣଗୁଡ଼ିକ ଅତି କମ୍ ହୋଇଥିବାରୁ ଓ ଅନ୍ତରସ୍ଥ ଆୟନଗୁଡ଼ିକର ବିକର୍ଷଣ ଅଣୁଗୁଡ଼ିକୁ ନିକଟତର ହେବାପାଇଁ ବାଧା ଦେଉଥିବାରୁ ଆଣବିକ ବନ୍ଧନ ଅତି ଦୁର୍ବଳ । ପରମାଣୁ ପ୍ରତି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଭୋଲ୍ଟର କେତେକ ଶହ ଭାଗରୁ ଭାଗେ ହେବ । ଏହିପରି ଦୁର୍ବଳ ବନ୍ଧନ ଫଳରେ ତରଳାଙ୍କ ଓ ସ୍ଫୁଟନାଙ୍କ ଅତି ଅଳ୍ପ ହୋଇଥାଏ । ସ୍ଫଟିକଗୁଡ଼ିକ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଭାବରେ ରୋଧୀ, ନରମ, ଦ୍ରବଣଶୀଳ ନୁହେଁ ଓ ସହଜରେ ଏଗୁଡ଼ିକର ଆକାର ପରିବର୍ତ୍ତନ କରାଯାଇପାରେ ।

21·3 ଆୟନୀୟ ସ୍ଫଟିକ :

ବୋଧହୁଏ ସମସ୍ତ କଠିନ ପଦାର୍ଥ ମଧ୍ୟରେ ବୁଝିବାକୁ ସରଳତମ ହେଲେ, ସେଗୁଡ଼ିକ ଯୁକ୍ତ ଓ ବିଯୁକ୍ତ ଆୟନଗୁଡ଼ିକ ଦ୍ୱାରା ଗଠିତ, ଯଥା—ଲିଥିୟମ ଫ୍ଲୋରାଇଡ୍ ଓ ସୋଡ଼ିୟମ୍ କ୍ଲୋରାଇଡ଼ । ଆୟନମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ମୌଳିକ ପାରସ୍ପରିକକ୍ରିୟା ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଓ ଏଥିରେ ଗୋଲକାକାର ସ୍ପନ୍ଦ ବଣ୍ଟନ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହୋଇଥାଏ । ଗୋଟିଏ ବିଶିଷ୍ଟ ଉଦାହରଣ ଭାବରେ, ଆମେ ପଟାସିୟମ କ୍ଲୋରାଇଡ଼ କଥା ବିଚାର କରିବା, କାରଣ Kcl ଅଣୁ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ଜ୍ଞାତ ତଥ୍ୟସବୁ ଏଥିରେ ଆମେ ବ୍ୟବହାର କରିପାରିବା । ଅଣୁଟିରେ ପ୍ରତି ଆୟନ ବିପରୀତ ଚାର୍ଜ ବିଶିଷ୍ଟ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ଆୟନ ସହିତ ବାନ୍ଧି ହୋଇଥାଏ, କିନ୍ତୁ କଠିନ ପଦାର୍ଥରେ ପ୍ରତି ଆୟନର ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ନିକଟତମ ପଡ଼ୋଶୀ ଥାଏ ଏବଂ ପ୍ରତି ଯୁକ୍ତ ଆୟନକୁ ଗୋଟିଏ ବିଯୁକ୍ତ ଆୟନ ସହିତ ଯୋଡ଼ି ଯୁଗଳଟିଏ ଗଠନ କରିବାର ଆଉ କୌଣସି ଅର୍ଥ ରହେନାହିଁ ।

ପଟାସିୟମ କ୍ଲୋରାଇଡ଼ ପାଇଁ ସ୍ଫଟିକ ଲାଟିସ୍ ହେଉଛି ମୁଖକେନ୍ଦ୍ରିକ ସମଘନ । ଏହାର ପ୍ରତି ଲାଟିସ୍ ବିନ୍ଦୁରେ ଗୋଟିଏ K^+ ଓ ଗୋଟିଏ cl^- ସଂଯୁକ୍ତ ଥାନ୍ତି (ଚିତ୍ର ୨୯·୨) ଅନ୍ୟଭାବରେ କହିଲେ, ଆମେ ଭାବି ପାରିବା ଯେ, ଏଥିରେ ଅନ୍ତଃସ୍ଥ ମୁଖ-କେନ୍ଦ୍ରିକ



[ଚିତ୍ର ୨୯·୨ Kcl ସ୍ଫଟିକରେ ଅନ୍ତଃସ୍ଥ ମୁଖ-କେନ୍ଦ୍ରିକ K^+ ଓ cl^- ଆୟନମାନ ଥାଏ]

K^+ ଆୟନ ଓ cl^+ ଆୟନସବୁ ରହିଅଛି । ଆମେ Kclର ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତି ହିସାବ କରିବା-ଠାରୁ ଆରମ୍ଭ କରିବା – K ଓ Cl ପରମାଣୁ ସବୁ ମିଳିତ ହୋଇ କଠିନ ପଦାର୍ଥ ଗଠନ କରିବାରେ ଯେଉଁ ପରିମାଣର ଶକ୍ତି ନିଷ୍କାସିତ ହୋଇଥାଏ, ଏହା ସେହି ଶକ୍ତି ପରିମାଣ । ଆମେ ଅନୁଃ ୨୯·୨ରେ ଦେଖିଥାଉଁ ଯେ, ଏହା 4·34eV ଗ୍ରହଣ କରି ସଂଯୋଜକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ଗୋଟିଏ K ପରମାଣୁରୁ ଅଲଗା ହୋଇଯାଇ K^+ ଆୟନ ଉତ୍ପନ୍ନ କରିଥାଏ । ସେହିପରି, ଗୋଟିଏ Cl ପରମାଣୁ ସହିତ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଯୋଗ ହୋଇ ଗୋଟିଏ Cl^- ଆୟନ କରିବାପାଇଁ 3·80eV ନିଷ୍କାସିତ ହୋଇଥାଏ । ତେଣୁ ଗୋଟିଏ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ପରମାଣୁରୁ ଗୋଟିଏ ହଳ ଆୟନ ଗଠନ ପାଇଁ 0·54eV ଶକ୍ତି ଦରକାର ହୋଇଥାଏ । ଯେତେବେଳେ ଏହି ଆୟନଗୁଡ଼ିକ ଏକତ୍ରିତ ହୋଇ ସ୍ଫଟିକଟି ଗଢ଼ା ହୁଏ,

ଏଥିରୁ ନିଷ୍ପାଦିତ ଶକ୍ତି ନିମ୍ନଲିଖିତମତେ ହିସାବ କରାଯାଇପାରେ । କେନ୍ଦ୍ରସ୍ଥ cl^- ଆୟନକୁ ବିଚାରକୁ ନିଅ (ଚିତ୍ର ୨୯·୨) । ଘନ ସ୍ଫଟିକରେ ନିକଟତମ K^+ ଆୟନଠାରୁ ଏହାର ଦୂରତା R ହୁଏ, ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାର ଶକ୍ତି ପ୍ରତି ନିକଟତମ ପଡ଼ୋଶୀ-ପାଇଁ $-e^2/4\pi\epsilon_0 R$ରୁ ନିଷ୍ପାଦିତ ହେବ । ଏହିପରି ଛଅଟି ପଡ଼ୋଶୀ ରହିଛନ୍ତି । ତାପର ନିକଟତମ ପଡ଼ୋଶୀ ହେଲେ $\sqrt{2}R$ ଦୂରତାରେ ଥିବା cl ଆୟନ । ଏପରି 12ଟି ରହିଅଛି । ତାପରେ 8ଟି K^+ ଆୟନ $\sqrt{3}R$ ଦୂରତାରେ ରହିଅଛି । ତାପରେ $2R$ ଦୂରତାରେ ଛଅଟି Cl^- ଆୟନ ଅଛନ୍ତି ଇତ୍ୟାଦି । ମୋଟ ଜାଲିସ୍ ଶକ୍ତି E_L ସ୍ଫଟିକ ମଧ୍ୟରେ ସମସ୍ତ ଆୟନରୁ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତିର ଅବଦାନ ସବୁ ମିଶାଇଲେ ମିଳିବ ଏବଂ ଏହା ହେଲା,

$$E_L = -\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 R}\left(\frac{6}{1} - \frac{12}{\sqrt{2}} + \frac{8}{\sqrt{3}} - \frac{6}{2} + \cdots\right)$$

$$= -\frac{\alpha e^2}{4\pi\epsilon_0 R} \qquad (୨୯·୯)$$

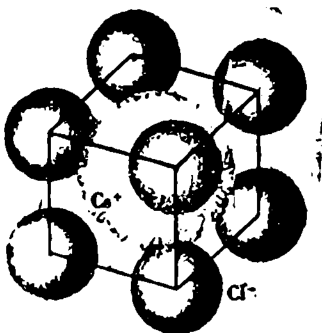
ଏଠାରେ α ମୂଲ୍ୟକୁ ବନ୍ଧନୀ ମଧ୍ୟସ୍ଥ ଶ୍ରେଣୀ ଅନୁସାରେ ହେବ । (ଏହି ଶ୍ରେଣୀଟି ଅତି ଆସ୍ତେ ଆସ୍ତେ ଅଭିସରଣ କରିଥାଏ; କେତେ ଯେମିତ ଅତି ଶୀଘ୍ର ଶୀଘ୍ର ଅଭିସରଣ ହେବ । ସେପରି ବ୍ୟବସ୍ଥା କରାଗଲଣି) । ଆୟୁମାସ୍ ମୁଖକେନ୍ଦ୍ରିକ ସ୍ଫଟିକ ପାଇଁ $\alpha = 1.747558$; 1912 ମସିହାରେ ଯେ ଏହାକୁ ହିସାବ କରିଥିଲେ ତାଙ୍କର ସମ୍ମାନାର୍ଥେ ଏହାକୁ ମାଡ଼େଲଙ୍ଗ୍ ଧ୍ରୁବ କୁହାଯାଏ ।

ଯେକୌଣସି ଆୟୁମାସ୍ ସ୍ଫଟିକ ପାଇଁ ଉପଯୁକ୍ତ ମାଡ଼େଲଙ୍ଗ ଧ୍ରୁବ ହିସାବ କରିହେବ ଅର୍ଥାତ୍ $Cscl$ ଗଠନ ପାଇଁ (ଚିତ୍ର ୨୯·୩) ଏହାର ମୂଲ୍ୟ 1·762760 । $Cscl$ ଗୋଟିଏ C_s^+ ଆୟନ ଓ ଗୋଟିଏ cl^- ଆୟନ ଗୋଷ୍ଠୀ ମଧ୍ୟରେ ଥାଇ ଗୋଟିଏ ସରଳ ସମଘନ । (ଲକ୍ଷ୍ୟ କର ଯେ, ଚିତ୍ର ୨୯·୩ରେ ଯଦି ସବୁ ପରମାଣୁ ସମାନ ହୋଇଥାନ୍ତେ, ସ୍ଫଟିକଟି ଗଣ୍ଡିକେନ୍ଦ୍ରିକ ହୋଇଥାନ୍ତା) ।

ଯଦି ଅୟନଗୁଡ଼ିକ ଅତି ପାଖାପାଖି ହୋଇଯାଆନ୍ତି ଓ ସେମାନଙ୍କର ଅନ୍ତଃସ୍ଥଳ ପରସ୍ପର ଉପରେ ପଡ଼େ, ପାଉଲି ଅପବର୍ଜନ ନିୟମ ପୁଣି ଏକ ବିକର୍ଷଣ ବଳ ଦେଇଥାଏ । ଏହାର ପରିମାଣ R କମିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ କ୍ଷିପ୍ର ଗତିରେ ବଢ଼ିଯାଏ । ଅତେ ବିକର୍ଷଣ ଶକ୍ତି

ପଦମାନଙ୍କୁ $E_R = \Lambda / R^n$ ଆକାରରେ ଲେଖିପାରିବା, ଏଠାରେ Λ ଗୋଟିଏ ଉପଯୁକ୍ତ ଧ୍ରୁବ ଓ n ସାଧାରଣତଃ 10 ହୋଇଥାଏ । ତେବେ ଆମେ ଯେଉଁ ଆୟନ ଯୁଗ୍ମ ପାଇଁ ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତିକୁ ମୋଟାମୋଟି ସ୍ଫଟିକରେ Rର ଫଳନ ସ୍ୱରୂପରେ ଲେଖିପାରିବା । ଏଥିରେ ଯୁଗ୍ମ ଆୟନ ଗଠନ ପାଇଁ ଯେତେ ଖର୍ଚ୍ଚ, ତାସହିତ ମୋଟ କୁଲମ୍ବ ଆକର୍ଷଣ ଶକ୍ତି ଓ ବିକର୍ଷଣ ଶକ୍ତି ପଦ ଯୋଗ କରିବାକୁ ହେବ । ଏପରି ମିଳିବ

$$E_b(R) = (4{\cdot}34 - 3{\cdot}80) - 1{\cdot}748 \times \frac{14{\cdot}40}{R} + \frac{\Lambda}{R^n} eV \quad (୨୯.୬)$$



[ଚିତ୍ର ୨୯.୩ $CsCl$ ସ୍ଫଟିକରେ Cs^+ ଓ Cl^- ଆୟନର ଅବସ୍ଥିତି ସରଳ ସମଘନାକାର ସଜ୍ଜା ଥାଏ]

ଏହି ପଦମାନଙ୍କର ଯୋଗଫଳ ଅଣୁ ପାଇଁ ଯେପରି କାର୍ଯ୍ୟ କରେ, କଠିନ ପଦାର୍ଥ ପାଇଁ ବହୁ ପଦମାନେ ସେହିପରି କାର୍ଯ୍ୟ କରିଥାଏ; କେବଳ ସ୍କେଲ କଥା ଛାଡ଼ିଦେଲେ ଚିତ୍ର ୨୯.୨ର ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ମୋଟାମୋଟି ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇଥାଏ । Kcl ସ୍ଫଟିକ ପାଇଁ ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାର ଅନ୍ତର ହେଲା $3{\cdot}14°A$ ଓ ବନ୍ଧନଶକ୍ତି ହେଲା । $6{\cdot}67 eV/in\ pain$ । ଏହା ମନେ ରଖିବାକୁ ହେବ ଯେ, ଏହି ଆସନ୍ନ ହିସାବରେ ଆୟନମାନଙ୍କର ଦୋଳନ ଶକ୍ତିଗୁଡ଼ିକ ହେଲା କରାଯାଇଅଛି ।

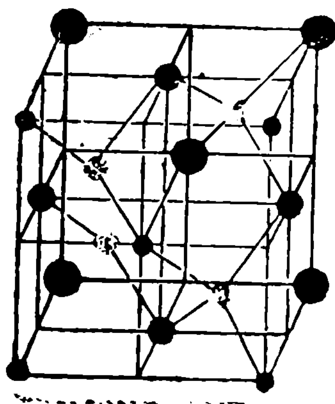
ଅପବର୍ତ୍ତନ ନମୁନାର ବିକର୍ଷଣ ଆୟନର ଅଭ୍ୟନ୍ତର ପରସ୍ପରର ଉପରେ ସ୍ଥାପନ ନହେବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଅଳ୍ପ ହୋଇଥିବାରୁ ଓ ତାପରେ ଅତି କ୍ଷିପ୍ରଗତିରେ ବଢ଼ିଯାଉଥିବାରୁ, ଆଲ୍‌କାଲି ହାଲାଇଡ୍ ସ୍ଫଟିକମାନଙ୍କରେ ଆୟନମାନଙ୍କର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ସବୁ ସୁନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଭାବରେ ସ୍ପଷ୍ଟ ଜାଣିହୁଏ ଏବଂ ପ୍ରତି ଆୟନକୁ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ଥିବା ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ଗୋଲକ ଭାବରେ ମୋଟାମୋଟି ନିଆଯାଇପାରେ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ପାଉଲି ଦେଖାଇଛନ୍ତି ଯେ, ଅନେକ ଆଲ୍‌କାଲି ହାଲାଇଡ୍ ସ୍ଫଟିକର ଲେଟିସ୍ ଅନ୍ତର ହିସାବ କରିବାପାଇଁ ଆୟନଗୁଡ଼ିକୁ ନିମ୍ନଦତ୍ତ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଲକମାନେ ପରସ୍ପରକୁ ଛୁଇଁ ରହିଛନ୍ତି ବୋଲି ମନେ କରାଯାଇପାରେ ।

ଆୟନ	Li^+	Na^+	K^+	Rb^+	F^-	cl^-	Br^-	I^-
ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ, A°	0·60	0·95	1·33	1·48	1·36	1·81	1·95	2·16

Kclର ଅପ୍ରମାପୀ ଗୁଣର ପ୍ରମାଣ ବିଦ୍ୟୁତପାରକ ଧ୍ରୁବକୁ ଆବୃତ୍ତିର ଫଳନ ଭାବରେ ମାପ କଲେ ମିଳିପାରିବ । ସ୍ଥିର ବା ଅଳ୍ପ ଆବୃତ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ କ୍ଷେତ୍ରପାଇଁ ଅପ୍ରମାପୀ ସ୍ଫଟିକପାଇଁ ବିଦ୍ୟୁତ-ପାରକ-ଧ୍ରୁବର ମୂଲ୍ୟ ଆଲୋକ-ଆବୃତ୍ତି କ୍ଷେତ୍ର ପାଇଁ ଏହାର ମୂଲ୍ୟ ଅପେକ୍ଷା ବହୁ ପରିମାଣରେ ଅଧିକ । ଏହାର କାରଣ ଆୟନଗୁଡ଼ିକ ଅଧିକ ଓଜନିଆ ହୋଇଥିବାରୁ ଉଚ୍ଚ ଆବୃତ୍ତିମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରଭାବିତ ହୋଇପାରେନାହିଁ । ନିମ୍ନ-ଆବୃତ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଆୟନଗୁଡ଼ିକ ଗତି କରିବାପାଇଁ ସମୟ ପାଏ; ଯେତେବେଳେ ଆୟନ ଦୋଳନର ପ୍ରାକୃତିକ ଆବୃତ୍ତି ଅପେକ୍ଷା ଆରୋପିତ ଆବୃତ୍ତି କମ୍ ହୁଏ, ସେତେବେଳେ ପାର୍ଶ୍ୱିକରଣ ହୋଇଥାଏ । ଏହି ଆବୃତ୍ତି ସାଧାରଣତଃ $10^{13} Hz$ କୋଟୀର ହୋଇଥାଏ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ସ୍ଥିର ବିଦ୍ୟୁତ-ପାରକ ଧ୍ରୁବ ଓ ଆଲୋକ ଆବୃତ୍ତିରେ ଏହି ଧ୍ରୁବର ଅନୁପାତ, କେତେକ କଣାଶୁଣା ସ୍ଫଟିକ ପାଇଁ ହେଲା *LiF*, 9·27/1·92; *Nacl*, 5·62/2·25; Kcl, 4·68/2·13 ।

21·4 ସହସଂଯୋଜକ ବନ୍ଧନ :

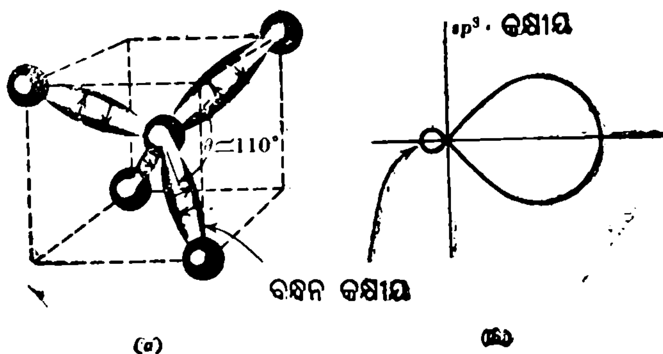
ଗୋଟିଏ କଠିନ ପଦାର୍ଥରେ ସହସଂଯୋଜକ ବନ୍ଧନ, ଠିକ୍ ଅଣୁରେ ହେବାପରି, ଦୁଇଟି ପଡ଼ୋଶୀ ପରମାଣୁ ମଧ୍ୟରେ ବିପରୀତ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ବିଶିଷ୍ଟ ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଭାଗିଦାରୀ ହେବାଦ୍ୱାରା ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଥାଏ । ସହସଂଯୋଜକ ବନ୍ଧନ IV ଦଳର ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ-ମାନଙ୍କରେ ଦେଖାଯାଇଥାଏ; ଯଥା—କାର୍ବନ, ଜର୍ମାନିୟମ, ସିଲିକନ ଓ ପାଉଁଶିଆ ଟିନ୍ । ଏସବୁଗୁଡ଼ିକ ଡାଏମଣ୍ଡ ଲାଟିସ୍‌ରେ ଘନାକାର ଧାରଣ କରିଥାଏ । (ଚିତ୍ର ୨୧·୪) । ପ୍ରତି ପରମାଣୁର ଚାରୋଟି ନିକଟତମ ପଡ଼ୋଶୀ ଅଛନ୍ତି ଓ ଏ ପ୍ରତ୍ୟେକଙ୍କ ସଙ୍ଗେ ଏହା ସହ-



[ଚିତ୍ର ୨୧.୪ ଘନ କଳା ଓ ପାଉଁଶିଆ ବୃତ୍ତମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଚିହ୍ନିତ ସ୍ଥାନସବୁ ଏକାପ୍ରକାରର ପରମାଣୁ ଦ୍ୱାରା ପୂର୍ଣ୍ଣହୁଏ, ମିଳୁଥିବା ଷ୍ଟ୍ରକ୍ଚର ହେବ ଡାଏମଣ୍ଡ, ସିଲିକନ ଓ ଜର୍ମାନିୟମ ପ୍ରକାରର । ଘନ ସ୍ଥାନଗୁଡ଼ିକ ଭିନ୍ନଭିନ୍ନ ପ୍ରକାରର ପରମାଣୁଦ୍ୱାରା ପୂର୍ଣ୍ଣ ହୁଏ, ଯଥା—ଜିଙ୍କ୍ ଓ ସଲ୍ଫର ଗଠନଟି ଜିଙ୍କ୍ ସଲ୍ଫାଇଡ୍ (ବ୍ଲେଣ୍ଡ) ଗଠନ ପରି]

ସଂଯୋଜକ ବନ୍ଧନରେ ବାନ୍ଧି ହୋଇ ରହିଛି (ଚିତ୍ର ୨୧·୫କ) । ଏହାର ସ୍ପେସ୍ ଲାଟିସ୍ ହେଲା ମୁଖ-କେନ୍ଦ୍ରିକ ଘନଘନ, ପ୍ରତି ଲାଟିସ୍ ବିନ୍ଦୁରେ ଦୁଇଟି ପରମାଣୁ ସଂଯୁକ୍ତ ଥାଏ ।

ଗୋଟିଏ (000)ରେ ଓ ଅନ୍ୟଟି ($\frac{1}{4}$ $\frac{1}{4}$ $\frac{1}{4}$)ରେ । IV ଦଳର ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକର ଭୂମ୍ୟାବସ୍ଥା ସଜ୍ଜା ହେଲା S^2P^2 । ତେବେ P ସ୍ତର S ସ୍ତରର ଅତି ନିକଟରେ ଥାଏ ଓ ଡାଏମଣ୍ଡ ଲାଟିସ୍‌ରେ ସଜ୍ଜାକୁ $3P^3$ ଦ୍ଵାରା ଏହା ଅପେକ୍ଷା ଭଲଭାବରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରିବ । ପ୍ରକୃତରେ ଡାଏମଣ୍ଡ ଗଠନରେ ଚତୁଷ୍ଫଳକ ବନ୍ଧନର ସମାନ ବଳ ଓ ବନ୍ଧମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ କୋଣ ସମାନ । ଏହା ନିମ୍ନମତେ ବୁଝିଯାଇ ପାରିବ । ଅନ୍ୟ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ନିକଟରେ ଥିବାରୁ S ଓ P କକ୍ଷୀୟଗୁଡ଼ିକ ଏପରିଭାବରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇଯାଆନ୍ତି, ଯେପରିକି ସେମାନଙ୍କର ଶକ୍ତି ବଦଳାଣି ହୋଇଯାଏ । ତେଣୁ ତରଙ୍ଗଫଳନମାନଙ୍କର କୌଣସି ସରଳରୈଖିକ ସମାବେଶ ମଧ୍ୟ ଗୋଟିଏ ସାମ୍ଭବ୍ୟ କକ୍ଷୀୟ ହୋଇଥାଏ; SP^3 ହାଇବ୍ରିଡ଼ାଇଜେସନ ଭାବରେ ନାମିତ ଗୋଟିଏ କୌଶଳ ଦ୍ଵାରା ତରଙ୍ଗଫଳନମାନଙ୍କର ଯୋଗଦ୍ଵାରା ଚତୁଷ୍ଟ କକ୍ଷୀୟ ପାଇବା ସମ୍ଭବ । ଏଥିରୁ ପ୍ରତ୍ୟେକଟି



[ଚିତ୍ର ୨୧.୫ (କ) ଯେଉଁ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ଡାଏମଣ୍ଡ ଗଠନରେ ସ୍ଫଟିକୀକୃତ ହୁଏ, ସେପ୍ରକାରର ସହସଂଯୋଜକ ବନ୍ଧ ସବୁ (ଖ) ଗୋଟିଏ ହାଇବ୍ରିଡ଼ାଇଜଡ଼ SP^3 କକ୍ଷୀୟ]

ଗୋଟିଏ ଚତୁଷ୍ଫଳକର ଗୋଟିଏ କୋଣର ଦିଗରେ ରହିଥାଏ ଓ କୋଣରେ ଗୋଟିଏ ନିକଟତମ ପଡ଼ୋଶୀ ରହିଥାଏ । ଏହିପରି ଗୋଟିଏ କକ୍ଷୀୟର ଉଦାହରଣ ଚିତ୍ର ୨୧.୫ ଖରେ ଦିଆଯାଇଅଛି ।

ଡାଏମଣ୍ଡ ପରି ସହସଯୋଜକ ବନ୍ଧନ ବଳଶାଳୀ ଓ ଅତ୍ୟନ୍ତ ଦୃଣାବାନ୍ । ଏହା କଠିନ କିନ୍ତୁ ଭଙ୍ଗୁର ବସ୍ତୁ ଉତ୍ପନ୍ନ କରିଥାଏ । କାରଣ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଏପରି ସ୍ଥିର କରିବା କେବଳ କେତେକ ଦିଗରେ ସମ୍ଭବ ହୋଇଥାଏ । ଏହା ଅପେକ୍ଷାକୃତ ଫମ୍ପା ସ୍ଫଟିକ ସୃଷ୍ଟି କରିଥାଏ । କାରଣ ଯଦ ଗୋଲକଗୁଡ଼ିଏ ପରସ୍ପରକୁ ଛୁଇଁ ରେଖିଏ ମଡେଲ ନଥାଯାଏ; କେବଳ ଏହାର ଘନର ମାତ୍ର ଶତକଡ଼ାକୁ ଅଂଶ ଗୋଲକମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଅଧିକୃତ ହେବ । ସହସଯୋଜକ ବନ୍ଧନ ଥିବା ସ୍ଫଟିକମାନଙ୍କରେ ବଦ୍ୟୁତ-ଧାରକ ଧ୍ରୁବ ଅବୃତ୍ତି ପ୍ରତି ପ୍ରାପ୍ତ ନଭରଶୀଳ ହୋଇ ନଥାଏ । ଶୂନ୍ୟ ଅବୃତ୍ତିଠାରୁ ଆଲୋକ ଆବୃତ୍ତି ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଏହା ନସ୍ଥିର କରିଥାଏ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ଜର୍ମାନିୟମ ପାଇଁ ବଦ୍ୟୁତ-ଧାରକ-ଧ୍ରୁବ ମୋଟାମୋଟି 16 କିନ୍ତୁ ସିଲିକନ୍ ପାଇଁ ଏହା ପନ୍ଦର ମଧ୍ୟରେ ଏହା ମାତ୍ର ।

ଡାଏମଣ୍ଡ ଦୁଇଟି ମୁଖକେନ୍ଦ୍ରିକ ସମଘନ ଲଟିସ୍ ନେଇ ଗଢ଼ା, ଦ୍ୱିତୀୟଟି ପ୍ରଥମର (III) କର୍ଣ୍ଣର ଏକ ଚତୁର୍ଥାଂଶ ବସ୍ଥାପିତ ହୋଇଥାଏ । ଅନେକ ଅର୍ଦ୍ଧ ପରିବାହକ ଯୌଗିକ ପଦାର୍ଥ ଜିଙ୍କ୍‌ସଲଫାଇଡ୍ (ବ୍ଲେଣ୍ଡ) ଗଠନରେ ସ୍ଫଟିକାକାର ଧାରଣ କରିଥାଏ । ଏଥିରେ ଜିଙ୍କ ଗୋଟିଏ ଲଟିସ୍‌ର ଲଟିସ୍ ବନ୍ଦୁମାନଙ୍କରେ ଥାଏ ଓ ଅନ୍ୟଟି ଲଟିସ୍‌ବନ୍ଦୁ-ମାନଙ୍କରେ s ପରମାଣୁସବୁ ଥାଏ (ଦେଖ, ଚିତ୍ର ୨୧.୪) । ତେଣୁ ପ୍ରତି ଜିଙ୍କ୍ ପରମାଣୁର ଚାରୋଟି s ପଡ଼ୋଶୀ ଥାଏ । ଏଗୁଡ଼ିକ ଗୋଟିଏ ନିୟମିତ ଚତୁଷ୍ଫଳକର କୋଣମାନଙ୍କରେ ଥାନ୍ତି ଓ ସେହିପରି ଅନ୍ୟଟିର ମଧ୍ୟ ହୋଇଥାଏ । ଏକ୍ଷେତ୍ରରେ ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଦୁଇଟି ଲେଖାଏଁ ବନ୍ଧ ଥାଏ । ଏଗୁଡ଼ିକ ଆଂଶିକଭାବରେ ସହସଯୋଜକ ଓ ଆଂଶିକ ଭାବରେ ଆୟନୀୟ । ବ୍ଲେଣ୍ଡ ଗଠନରେ ଅନେକ ଯୌଗିକ ପଦାର୍ଥ ସ୍ଫଟିକାକାର ଧାରଣ କରିଥାଏ; ସେଥିମଧ୍ୟରୁ କେତେକ ହେଲା; SiC (IV, IV); A IP, INAS ଓ INSB (III, V): ZnSe, ZnS ଓ CdS (II, VI); CuF, Cucl ଓ AgI (I, VII) ।

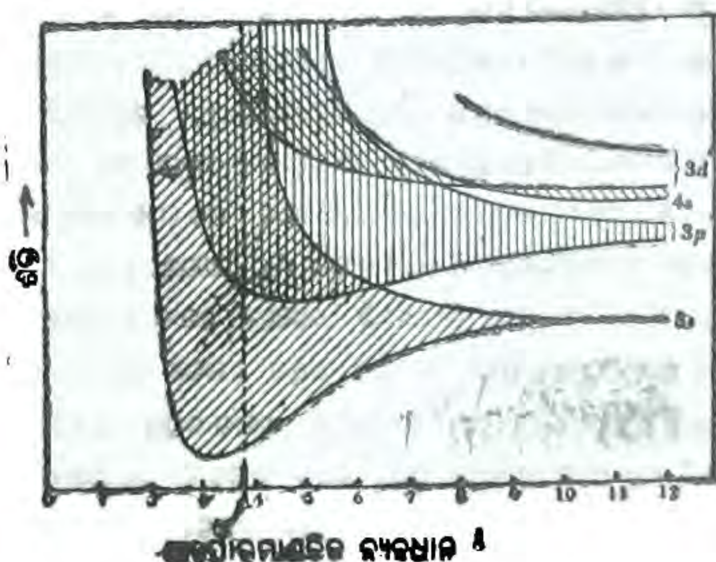
21.5 ଧାତବ ବନ୍ଧନ :

ଧାତୁମାନଙ୍କରେ ପରମାଣୁ ସବୁ ସେମାନଙ୍କର ବାହ୍ୟସ୍ତରରେ ଥିବା ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଗୁଡ଼ିକ ଧାରଣ କରନ୍ତି ନାହିଁ । ଏଗୁଡ଼ିକ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ମିଶ୍ରଣ ହୋଇଥାଏ; ଧାତୁ ମଧ୍ୟରେ ରହିଥାଏ; କିନ୍ତୁ ଅନ୍ୟସବୁମତେ ମୁକ୍ତ ରହିଥାଏ । ଏହି ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ

ଧାତୁମାନଙ୍କର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଓ ତାପର ସୁପରିବାହକତାଶୀଳତା ପାଇଁ ଦାୟୀ । ଗୋଟିଏ ଉଦାହରଣ ହିସାବରେ ଆମେ ସୋଡ଼ିୟମ କଥା ବିଚାର କରିବା । ଏହା ଗୋଟିଏ ଘନ କେନ୍ଦ୍ରିକ ସମଘନ ଲାଟିସ୍‌ରେ ନିକଟତମ ପଡ଼ୋଶୀର ଦୂରତା 3·71A° ଥାଇ ଓ ଲାଟିସ୍ ସ୍ଥିରାଙ୍କ 4·28A° ଥାଇ ସ୍ଫଟିକାକାର ଧାରଣ କରେ । ଗୋଟିଏ ଏକା ଏକା ପରମାଣୁଠାରୁ 4 ବୋର୍ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ଦୂରତାଠାରୁ ଅଧିକ ଦୂରତାରେ ସୋଡ଼ିୟମର ଗୋଟିଏ 3S ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇବାର ବହୁତ ସମ୍ଭାବନା ନାହିଁ ବୋଲି ଚିତ୍ର ୧୯·୪ରୁ ଦେଖାଯାଉଛି । ତେଣୁ ଗୋଟିଏ କଠିନ ପଦାର୍ଥରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଯଦି ଏହାର ପରମାଣୁଠାରୁ ବହୁତ ଦୂରରେ ରହେ, ତେବେ ଏହା କୌଣସି ପଡ଼ୋଶୀ ପରମାଣୁର ନିକଟତର ହୋଇ ରହିବ । ନିକଟ ପଡ଼ୋଶୀମାନଙ୍କ ସହିତ ପାରସ୍ପରିକକ୍ରିୟା ଫଳରେ ସୋଡ଼ିୟମର ସଂଯୋଜକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସ୍ଫଟିକ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରାୟ ମୁକ୍ତ ହୋଇ ଯାଇଥିବ । ସୋଡ଼ିୟମର ପ୍ରତ୍ୟେକ ପରମାଣୁ ସମସ୍ତ ସ୍ଫଟିକକୁ ଗୋଟିଏ ଲେଖାଏଁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଦେଇଥାନ୍ତି ବୋଲି ହିସାବ କଲେ ଏକ ଉତ୍ତମ ଆସନ୍ନ ହେବ । ଗୋଟିଏ ସୋଡ଼ିୟମ ସ୍ଫଟିକ ଗୋଟିଏ ଯୁକ୍ତ ଆୟନୀୟ ଅନ୍ତଃସ୍ଥଳ ଓ ଗୋଟିଏ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନକୁ ନେଇ ଗଠିତ । ଏହି ଏହା ପାଇଁ ଶକ୍ତି କମ୍ ହୋଇଥାଏ କାରଣ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ସର୍ବଦା ଯୁକ୍ତ ଆୟନର ଅତି ନିକଟରେ ରହୁଥିବାରୁ ଏହାର ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି କମ୍ ଥାଏ; ତେଣୁ ଏକ ସଙ୍ଗେ ତା'ର ତରଙ୍ଗ ଫଳନଟି ବିସ୍ତାରିତ ହୋଇଥାଏ ଏବଂ ଏହା ସ୍ୱଳ୍ପ ଗତିଜ ଶକ୍ତି ଦେଇଥାଏ ।

ଅନୁ: ୧୯·୫ରେ ଆମେ ଦେଖିଥାଉଁ ଯେ, ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁକୁ 'ଆଉ ଗୋଟିକର ନିକଟକୁ ଆଣିବାର ପ୍ରଭାବ ଗୋଟିଏ ସୁନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଶକ୍ତି ସ୍ତରକୁ ଭାଙ୍ଗି ଏକ ହାଳରେ ପରିଣତ କରିବା । ଯଦି ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ପାରସ୍ପରିକକ୍ରିୟାଶୀଳ ପରମାଣୁ ଥାଆନ୍ତି, ପ୍ରତି ବାହ୍ୟ ସ୍ତର ବିସ୍ତାରିତ ହୋଇ ସ୍ତରମାନଙ୍କର ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ ପରିଣତ ହୁଏ । ଏଥିରୁ କେତେକ ମୂଳ ସ୍ତରର ଉପରକୁ ଓ କେତେ ଏହାର ତଳକୁ ରହିଥାନ୍ତି । ଯେତେବେଳେ ସୋଡ଼ିୟମ ପରମାଣୁ ସବୁ ଗୋଟିଏ ସ୍ଫଟିକ ଗଠନ କରନ୍ତି । ସୁନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପାରମାଣବିକ ସ୍ତରସବୁ ବ୍ୟାଣ୍ଡ-ମାନଙ୍କରେ ବିସ୍ତାରିତ ହୋଇଥାଏ । ଏହା ଚିତ୍ର ୧୯·୬ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଛି । ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାର ଅନ୍ତରରେ 3S ସ୍ତରଟି ଗୋଟିଏ ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ ବିସ୍ତାରିତ ହୋଇଯାଏ । ଏହାର ନିମ୍ନତମ ସ୍ତରଟି ପାରମାଣବିକ 3S ସ୍ତରଠାରୁ ତଳକୁ ରହେ । ଏଣେ 3P ବ୍ୟାଣ୍ଡ 3Sର

ଉପରେ ପଡ଼େ, $3D$ ଓ $4S$ ବ୍ୟାଣ୍ଡସବୁ $3P$ ଉପରେ ପଡ଼େ ନାହିଁ, ଫଳରେ ଗୋଟିଏ ସୋଡିୟମ କ୍ରିଷ୍ଟାଲ ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ $3S$ ବ୍ୟାଣ୍ଡର ନିମ୍ନତମ ଶକ୍ତିଠାରୁ ଉପରକୁ ଯେକୌଣସି ଶକ୍ତି ଲାଭ କରିପାରେ । ଗୋଟିଏ ଅବ୍ୟବହିତ ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ରକୁ ଯେଉଁ ବସ୍ତୁର ଶକ୍ତିସ୍ତରମାନଙ୍କରୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନେ ଶକ୍ତି ଆହରଣ କରି କ୍ରିଷ୍ଟାଲ ମଧ୍ୟରେ ବିଚରଣ କରନ୍ତି, ତାକୁ ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡ କୁହାଯାଏ ।



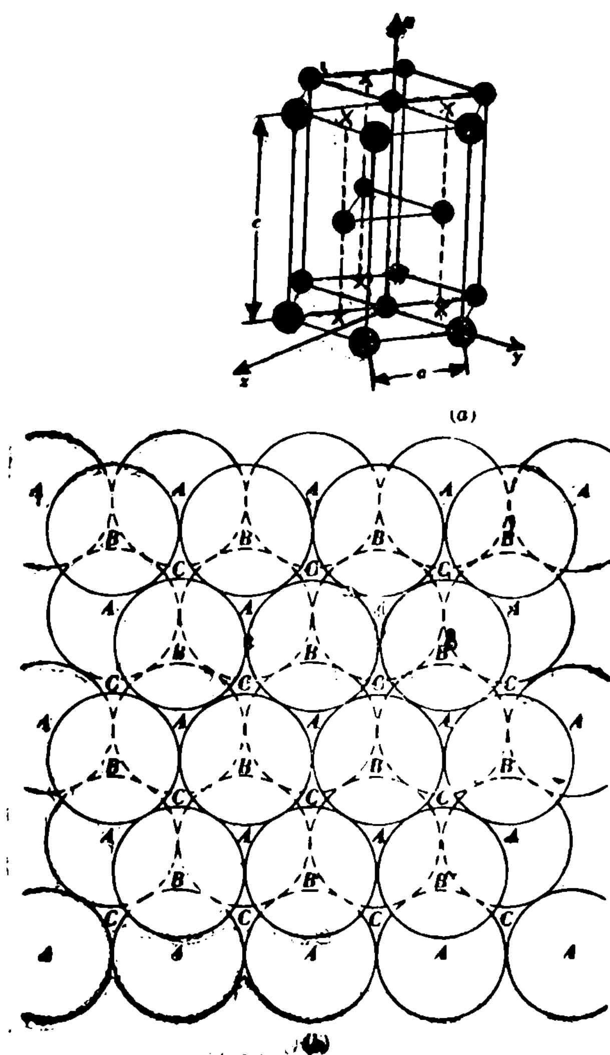
[ଚିତ୍ର ୨୧·୭ ସୋଡିୟମ ପରମାଣୁସବୁ ଏକତ୍ରିତ ହୋଇ ଗୋଟିଏ ଧାତୁ ଗଠନ କଲାବେଳେ ଉପରେ ଥିବା ସୁନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଶକ୍ତିସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ ବିସ୍ତାରିତ ହୋଇଯାଏ, ଏବଂ ଉକ୍ତ କଠିନ ପଦାର୍ଥର (ସୋଡିୟମ) ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ବ୍ୟବଧାନ ମଧ୍ୟରେ ଉପର ଉପର ହୋଇପଡ଼େ । (After slater)]

ସମସ୍ତ ଆଲ୍କାଲି ଧାତୁ ଅନ୍ତ-କେନ୍ଦ୍ରିକ ସମଘନ ଲାଟିସ୍‌ରେ କ୍ରିଷ୍ଟାଲାକାର ଧାରଣ କରନ୍ତି । ଏଥିରେ ପ୍ରତି ଆୟନର ଆଠଟି ନିକଟତମ ପଡ଼ୋଶୀ ଥାନ୍ତି । ସୋଡ଼ିୟମ ଆୟନର ଖାଲିକ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ହେଲା 0·95A°, କିନ୍ତୁ ନିକଟତମ ପଡ଼ୋଶୀମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ଅନ୍ତର ହେଲା 3·71A° । ଏହି ବ୍ୟାଣ୍ଡକୁ

ହ୍ୟୁମ୍-ରୋଥେରି ଧାତବ ସୋଡିୟମକୁ "ଗ୍ରେଟ Na^+ ଆୟନ ସଂଯୋଜକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ-ମାନଙ୍କର ବାଦଲରେ ନିୟମିତ ବ୍ୟୂହରେ ଖସୁଛି" ବୋଲି ବର୍ଣ୍ଣନା କରିଛନ୍ତି । ଏହା କେତେକାଂଶରେ ଠିକ୍ । କାରଣ ସ୍ଫଟିକର ଏତେ କମ୍ ଅଂଶ ଆୟନମାନେ ଅଧିକାର କରିଥାନ୍ତି ଯେ, ଆଲ୍‌କାଲିମାନଙ୍କ ପାଇଁ ବିଶେଷ ଭାବରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗ୍ୟାସ ମଡେଲ୍ (ଅନୁ: ୨୯.୮) ଉପଯୁକ୍ତ ହୋଇଥାଏ ।

ଅନ୍ୟ ସ୍ଫଟିକମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ଅଧିକାଂଶ ମୁଖକେନ୍ଦ୍ରିକ ସମଘନ ବା ଷଡ଼ଭୁଜାକାର ସାନ୍ଦ୍ର (ଚିତ୍ର ୨୯.୭) ସ୍ଫଟିକ । ଏପରି ସଜ୍ଜାରେ ପ୍ରତି ପରମାଣୁର 12ଟି ନିକଟତମ ପଡ଼ୋଶୀ ଥାନ୍ତି, ଏହା ସର୍ବସମ ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସର୍ବାଧିକ ସାମ୍ଭବ୍ୟ ସହଯୋଗୀ ସଂଖ୍ୟା । ମୁଖ-କେନ୍ଦ୍ରିକ ସମଘନ ଓ ଷଡ଼ଭୁଜାକାର ସାନ୍ଦ୍ର ଗଠନ । ଏ ଦୁହେଁ ଅତି ଘନିଷ୍ଠଭାବରେ ସଂପୃକ୍ତ । ଚିତ୍ର ୨୯.୭ରୁ ଏହା ଯେ କେହି ଦେଖିପାରିବେ । ଯଦି କେହି ଛଅଟି ପଡ଼ୋଶୀଙ୍କୁ ଛୁଇଁଥିବା ସର୍ବସମ ଗୋଲକମାନଙ୍କର ଗୋଟିଏ ସ୍ତର Aରୁ ଆରମ୍ଭ କରେ ଓ ଗୋଟିଏ ଦ୍ୱିତୀୟ ସ୍ତର B ଖାଲମାନ ପୂରଣ କରିବାପାଇଁ ଏଥିସଙ୍ଗେ ଯୋଗ କରାଯାଏ, ଦ୍ୱିତୀୟ ସ୍ତରର ପ୍ରତି ଗୋଲକ ଅନ୍ୟ ନଅଟି ସଂସ୍ପର୍ଶରେ ଆସିବ । ତଳେ ଛଅୋଟି ଓ ଦ୍ୱିତୀୟ ସ୍ତରର ଛଅଟି । ଯେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ ତୃତୀୟ ସ୍ତର ଯୋଗ କରାଯାଏ । ଗୋଲକଗୁଡ଼ିକ ଦୁଇ ଶ୍ରେଣୀ ମଧ୍ୟରୁ କେଉଁ ଖାଲଗୁଡ଼ିକ ପୂରଣ କରିବ ବାଛିବାକୁ ହୋଇଥାଏ । ଯଦି ସେମାନେ ପ୍ରଥମ ସ୍ତରର ଠିକ୍ ଉପରକୁ A ସ୍ଥାନମାନଙ୍କରେ ରହନ୍ତି ଓ ସ୍ଫଟିକଟି $ABABA\cdots$ ସ୍ତରମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଗଢ଼ି ଉଠେ, ଷଡ଼ଭୁଜାକାର ସାନ୍ଦ୍ର ଗଠନ ମିଳିଥାଏ; ଯଦି ସେମାନେ C ସ୍ଥାନମାନଙ୍କରେ ରହନ୍ତି ଓ ସ୍ଫଟିକଟି $ABCABC\cdots$ ସ୍ତରମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଗଢ଼ା ହୋଇଥାଏ, ଗୋଟିଏ ମୁଖ-କେନ୍ଦ୍ରିକ ସମଘନାକାର ସ୍ଫଟିକର ମଡେଲ ହୋଇଥାଏ । ଏହି ଦୁଇଟି ବ୍ୟୂହ ସମାନ ଗୋଲକମାନଙ୍କ ପାଇଁ ସାନ୍ଦ୍ର ଭାବରେ ରହିଥିବା ମଡେଲ, ଏ ପ୍ରତ୍ୟେକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଗୋଲକଗୁଡ଼ିକ ସମସ୍ତ ଘନର ଶତକଡ଼ା 74 ଅଧିକାର କରିଥାନ୍ତି । କପର୍ ଓ ସିଲ୍‌ଭର ପରି ଧାତୁମାନଙ୍କର ଆୟନ ଅନ୍ତଃସ୍ଥଳଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ ପରସ୍ପରକୁ ଛୁଇଁଥିବା ଗୋଟିଏ ମୁଖକେନ୍ଦ୍ରିକ ସମଘନ ବ୍ୟୂହ ଗୋଟିଏ ଉତ୍ତମ ମଡେଲ ।

ସର୍ବବ୍ୟାପୀ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଓ ଆୟନମାନଙ୍କର ପାରସ୍ପରିକକ୍ରିୟାରୁ ଧାତବ ବନ୍ଧ ଜାତ ହୋଇଥାଏ । ଏହି ବନ୍ଧନ ସବୁ ଦଗରେ ପ୍ରାୟ ସମାନ, ଦଗ ଅନୁସାରେ



[ଚିତ୍ର ୨୯.୭(କ) ଷଡ଼ଭୁଜାକାର ସାନ୍ଦ୍ର ଗଠନ । (ଖ) ଯେତେବେଳେ ସାନ୍ଦ୍ର ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ABABA···କ୍ରମରେ ଗଢ଼ି ହୁଏ, ଷଡ଼ଭୁଜାକାର ସାନ୍ଦ୍ର ଗଠନ ମିଳିଥାଏ; ABCABC···କ୍ରମରେ ରହିଲେ ମୁଖକେନ୍ଦ୍ରିକ ସମଘନାକାର ବ୍ୟୂହ ମିଳିଥାଏ]

ଏହା ବିଶେଷ ପରିବର୍ତ୍ତନଶୀଳ ନୁହେଁ । ଅଳ୍ପ ମଧ୍ୟ, ଯେପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଆୟନ ଅନ୍ତଃସ୍ଥଳ ଆକାରରେ ବିଶେଷ ଭିନ୍ନ ନହୋଇଛି, ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଅଠା ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ପ୍ରକାରର ଆୟନ ଅନ୍ତଃସ୍ଥଳ ପାଇଁ ସମଭାବରେ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହୋଇଥାଏ; ଧାତୁଗୁଡ଼ିକ କାହିଁକି ଶଙ୍କର କରାଯାଇପାରେ ଓ ପରିସ୍ଥିତି ବିହୀନ ଗଢ଼ାଯାଇପାରେ, ଏଥିରୁ ଜଣାଯାଏ ଧାତବ ବନ୍ଧନରେ, (ପରମାଣୁ-ଗୁଚ୍ଛିକ) ସାଧାରଣତଃ ରହିବା ବିଶେଷଭାବେ ଦେଖାଯାଏ ବୋଲି ଯେଉଁ ଗଠନରେ ସାନ୍ଦ୍ରତା ଅଧିକ ଓ ବଳଶାଳୀ ହୁଏ, ସେହି ଗଠନ ଦେଖାଯାଇଥାଏ । ଧାତୁର ତାନ୍ତବତାର କାରଣ ଏଥିରେ ଗୋଟିଏ ସ୍ତର ଉପରେ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ସ୍ତରକୁ ସହଜରେ ଖସାଇ ନେଇ ହୁଏ । ସାନ୍ଦ୍ର ଭାବରେ ଥିବା ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକରେ ଗୋଟିଏ ସ୍ତର ଉପରେ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ସ୍ତର ନ୍ୟୂନତମ ବାଧାରେ ଖସି ଯାଇପାରେ ଓ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ସ୍ଥାୟୀ ଅବସ୍ଥାରେ ନ୍ୟୂନତମ ବିସ୍ଥାପନରେ ପହଞ୍ଚିଯାଇପାରେ । ଏହି ବନ୍ଧନର ଅଦିଷ୍ଟ ଦିଗ ନଥିବା ଗୁଣକୁ ଧନ୍ୟବାଦ ଓ ଆୟନ ଅନ୍ତଃସ୍ଥଳ ପାଇଁ ଏହାର ସମାନ ବ୍ୟବହାରକୁ ମଧ୍ୟ ଧନ୍ୟବାଦ । ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ଗୋଟିଏ ସ୍ତରର ବିଭିନ୍ନ ସ୍ଥାନରେ ଥିବା ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାର ସ୍ଥାନଗୁଡ଼ିକୁ ସ୍ଥାନାନ୍ତରିତ ହେବା ପରେ ନୂତନ ପଡ଼ୋଶୀମାନଙ୍କ ସହିତ ପୁରାତନ ପଡ଼ୋଶୀ-ମାନଙ୍କ ସହ ଯୋଡ଼ି ହେବାପରି ଯୋଡ଼ି ହୋଇ ଯାଇଥାଏ; ଏହିପରି ସ୍ଫଟିକର ମୂଳ ଗଠନ ପୁଣି ଫେରି ଆସିଥାଏ ।

21·6 ଧାତୁ ଓ ରୋଧୀ :

କେତେକ ସଂଯୋଜକ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଥିବା (ସଂଯୋଜକ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ସାଧାରଣତଃ ପରମାଣୁରେ ଦୁର୍ବଳଭାବରେ ଲାଗିଥାନ୍ତି) ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଧାତବୀୟ ବନ୍ଧନ ଅତି ସାଧାରଣ । ଧାତୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଏହି ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ମୁକ୍ତ ଅର୍ଥାତ୍ ଅପେକ୍ଷାକୃତ ସହଜରେ ଏମାନେ ସ୍ଫଟିକ ମଧ୍ୟରେ ଗତି କରି ପାରନ୍ତି । ଏପରିକି $0°K$ରେ ମଧ୍ୟ ଧାତୁମାନଙ୍କର ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ସବୁ ଥାଆନ୍ତି (ଦେଖ ୨୧·୮ଡ) ପ୍ରକୃତରେ, $0°k$ରେ ଗୋଟିଏ ଅପେକ୍ଷିତ ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ରଦ୍ୱାରା ଯେଉଁ କଠିନ ପଦାର୍ଥରେ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଗତି କରିବାପାଇଁ ମୁକ୍ତ ଥାଆନ୍ତି, ତାହାଙ୍କୁ ଧାତୁ କୁହାଯାଇଥାଏ । ବହୁମଧ୍ୟ ପରି କେତେକ ପଦାର୍ଥରେ ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ତୁଳନାରେ

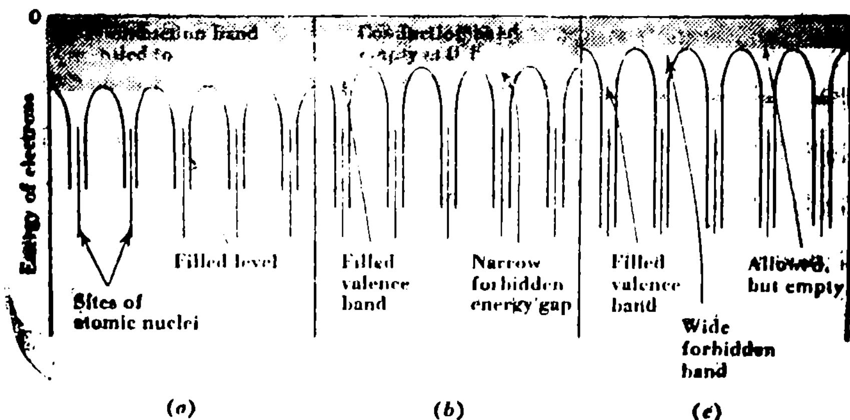
ମୁକ୍ତ ସ୍ତରରେ ଥିବା ପରିବାହକର ସଂଖ୍ୟା ବହୁତ ଅଳ୍ପ । ଏହି ପ୍ରକାରର ପଦାର୍ଥଗୁଡ଼ିକୁ ସାଧାରଣତଃ ଅର୍ଦ୍ଧଧାତୁ କୁହାଯାଇଥାଏ ।

ଧାତୁଗୁଡ଼ିକୁ ଗୁଣରେ ବଦଳାଇବାକୁ ହେଲେ 0°Kରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଅସ୍ୱାଦୀୟ ବନ୍ଧନରେ ବିସ୍ଥାପିତ ହୋଇ ବା ସହସଂଯୋଜକ ବନ୍ଧନରେ ସମଭାଗୀ ହୋଇ ଆରୋପିତ କ୍ଷେତ୍ରକୁ ଶକ୍ତି ଗ୍ରହଣ କରିବାପାଇଁ ମୁକ୍ତ ନଥାନ୍ତି ଓ ଏମାନେ ସ୍ଫଟିକ ମଧ୍ୟରେ ଗତି କରନ୍ତି ନାହିଁ । ଯଦିଓ ସୁନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପାରମାଣବିକ ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ କଠିନ ପଦାର୍ଥରେ ବୋଲ ହୋଇ ରହିଥାଏ, କିନ୍ତୁ ନିମ୍ନ ଅଞ୍ଚଳ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ସମସ୍ତ ଅନୁମତି ଶକ୍ତିସ୍ତର (ଅନ୍ୟାର୍ଥ 0°Kରେ) ଅଧିକୃତ ହୋଇ ରହିଥାଏ ଏବଂ ବିଭବକୁ ଚାଳିତ କରିବା ପାଇଁ ଆଉ କୌଣସି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ନଥାଏ । ଅଧିକୃତ ହୋଇଥିବା ଉଚ୍ଚତମ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ମଧ୍ୟରେ ସମଭାଗୀ ହୋଇଥିବା ସଂଯୋଜକ ବନ୍ଧନରେ ଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଅସ୍ୱାଦୀୟ ବନ୍ଧନରେ ସ୍ଥାପିତ ହୋଇଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଅନ୍ତର୍ଗତ । ଏହି ଉଚ୍ଚତମ ବ୍ୟାଣ୍ଡକୁ ସଂଯୋଜକ ବ୍ୟାଣ୍ଡ କହନ୍ତି । ଏପରିକି ଅତି ଉଚ୍ଚତମ ସ୍ଫଟିକାକାର ରୋଧୀମାନଙ୍କରେ ସଂଯୋଜକ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ଉପରକୁ ପରିବାହୀ ବ୍ୟାଣ୍ଡମାନ ଥାଏ । ଯଦି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଯଥେଷ୍ଟ ଶକ୍ତି ଲାଭ କରନ୍ତି, ତେବେ ଉତ୍ତେଜିତ ହୋଇ ଏହି ବ୍ୟାଣ୍ଡ ମଧ୍ୟକୁ ଚାଲିଯାଇପାରନ୍ତି । ମାତ୍ର ଏହି ବ୍ୟାଣ୍ଡମାନଙ୍କର ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ନିଷିଦ୍ଧ ଶକ୍ତି ଅଞ୍ଚଳ ରହିଅଛି । (ଚିତ୍ର ୨୧'୮ଖ ଓ ଗ) । ଯେତେବେଳେ ଏହି ନିଷିଦ୍ଧ ଅଞ୍ଚଳଟି ଅତି ସାନ ହୁଏ, ତାପଦ୍ୱାରା ଉତ୍ତେଜିତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗୁଡ଼ିକ ସଂଯୋଜକ ବ୍ୟାଣ୍ଡମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ପରିବାହୀ ବ୍ୟାଣ୍ଡକୁ ଯାଇପାରେ; ତେଣୁ 0°Kରେ ଗୋଟିଏ କୁରୋଧୀ ହୋଇଥିଲେ ମଧ୍ୟ କୌଣସି ପଦାର୍ଥ ଉଚ୍ଚ ତାପମାତ୍ରାରେ ଗୋଟିଏ ପରିବାହୀ ହୋଇଯାଏ । ଗୋଟିଏ ପଦାର୍ଥର ସଂଯୋଜକ ଓ ପରିବାହୀ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ମଧ୍ୟରେ ସ୍ୱଳ୍ପ ପ୍ରଭେଦ ଥିଲେ ତାହା ଗୋଟିଏ ଅର୍ଦ୍ଧପରିବାହକରୂପେ ନାମିତ ହୁଏ ।

21·7 ଧାତବୀୟ ପରିବହନ :

ଯଦିଓ ଧାତବୀୟ ବନ୍ଧନ ଗୋଟିଏ ପ୍ରାଚୀନ ରାସାୟନିକ ଘଟଣା, 1900 ମସିହା ପରେ ବହୁ ଅନେକାଳକୁ ଡ୍ରୁଡ୍ ପ୍ରସ୍ତାବ ଦେଇଥିଲେ ଯେ; ଧାତୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରତି

ପରମାଣୁ ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ବା ତତୋଧିକ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଥାଏ ଓ ତାହାଙ୍କରେ ଧନ ଆୟନଗୁଡ଼ିକ ଥାଏ । ଏହି ଧାରଣାକୁ ନେଇ ଅର୍ଦ୍ଧପାରମାଣିକ ଭାବରେ ସେ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଓ ତାପଜ ପରିବହନ ବୁଝାଇ ପାରିଥିଲେ । 1909 ମସିହାରେ ଏହି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗ୍ୟାସ ଓ ଲରେଞ୍ଜ ମ୍ୟାକ୍ସୱେଲ ବୋଲ୍ଜମ୍ୟାନ ପରିସଂଖ୍ୟାନ ବ୍ୟବହାର କରିଥିଲେ ଏବଂ ଧାତୁମାନଙ୍କର ଆଲୋକ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ଗୁଣଗୁଡ଼ିକ ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ଭାବରେ ବୁଝାଇ ପାରିଥିଲେ ।



[ଚିତ୍ର ୨୯.୮ (କ) ଧାତୁ (ଖ) ଅର୍ଦ୍ଧପରିବାହକ ଓ (ଗ) ଶ୍ରେଣୀ ମଧ୍ୟରେ ଶକ୍ତି ବ୍ୟାଣ୍ଡଗୁଡ଼ିକର ତୁଳନା । 0°k ରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ କଳା ଚିହ୍ନିତ ସମସ୍ତ ସ୍ତରରେ ରହିଥାନ୍ତି; ପାଉଁଶିଆ ଚିହ୍ନିତ ଶକ୍ତିସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ 0°k ରେ ଅନୁମତି ମାତ୍ର ଅନଧିକୃତ । ଅତି ତଳେ ଥିବା ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ (ଯଥା – K ଓ L ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ଦେଖାଯାଇନାହିଁ (From······pers]

ତେବେ ଏହି ତତ୍ତ୍ୱ ପ୍ରୋଧକର ତାପକାଙ୍କ, ବିଶିଷ୍ଟ ତାପ ଓ ଚୁମ୍ବକୀୟ ସୁଗ୍ରାହିତା ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଅସନ୍ତୋଷଜନକ ଉତ୍ତରସବୁ ଦେଲା ।

ଧାତବୀୟ ପରିବହନତାର ଏକ ସରଳତମ ମଡେଲରେ ଆରମ୍ଭରୁ ଅନୁମାନ କରାଯାଏ ଯେ, ପରିବାହୀ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନମାନେ ସ୍ୱାଧୀନ ଏକାପରି କାର୍ଯ୍ୟ କରିଥାନ୍ତି । ଯେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ର E ଆରୋପ କରାଯାଏ, ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ପରିଚାଳନକାରୀ ବଳ $-eE$ ଦ୍ୱାରା ତ୍ୱରାନ୍ୱିତ ହୁଅନ୍ତି । ଏକ ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାର ସ୍ରୋତ ଅତଶୀଘ୍ର ମିଳିଥାଏ । ଏହି ଘଟଣା କ୍ରମରେ ବୁଝାଯାଇପାରେ । ଆୟନୀୟ ଅନ୍ତଃସ୍ଥଳମାନଙ୍କ ସହିତ ଆଘାତରୁ ଗୋଟିଏ ପରିଣାମୀ ମନ୍ଥରକାରୀ ବଳ ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଥାଏ ଯାହାକି ପରିଚାଳନକାରୀ ବଳ ସହିତ ସମାନ ହୋଇଥାଏ । ଏହି ମନ୍ଥରକାରୀ ବଳ $-mv_d/T$ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହେଉ, ଏଠାରେ m ହେଲା ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନର ବସ୍ତୁତ୍ୱ, v_d ହେଲା ଗଡ଼ରେ ଚାଳିତ ଗଡବେଗ ଓ T ହେଲା ଗୋଟିଏ ଧ୍ରୁବ । ଏହି ଧ୍ରୁବକୁ ଆମେ ଅବସର ସମୟ କହିବା । ସ୍ଥିର ଅବସ୍ଥାରେ ପରିଚାଳନକାରୀ ଓ ମନ୍ଥରକାରୀ ବଳ ସମାନ ହେବ; ତେଣୁ ଆମେ ପାଇବା

$$v_d = \frac{eTE}{m} \qquad (୨୧\cdot୩)$$

ଯଦି Eଟି x ଦିଗରେ ଥାଏ; ଆମେ ଲେଖିପାରିବା $j_x = nev_d$, ଏଠାରେ j_x ହେଲା ସ୍ରୋତର ସାନ୍ଦ୍ରତା ଓ n ହେଲା ଏକକ ଘନରେ ପରିବାହୀ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନର ସଂଖ୍ୟା । ଯଦି ଆମେ ସମୀକରଣ ୨୧·୩)ରୁ v_dକୁ ଏଠାରେ ସ୍ଥାପନ କରୁ ଆମେ ପାଇବା,

$$j_x = \frac{ne^2 r}{m} E_x \qquad (୨୧\cdot୪)$$

ତେଣୁ ହାରାହାରି ଚାଳିତ ଗଡବେଗକୁ ଅନୁପାତୀ ହୋଇଥିବା ଗୋଟିଏ ମନ୍ଥରକାରୀ ବଳ ଅନୁମାନ କଲେ ସିଧାସଳଖ ଭାବରେ ଓହମଙ୍କ ନିୟମ ଦେବ । ଏହି ନିୟମଟି ନ୍ୟୂନତମ ଆକାରରେ $J = \sigma E$ । ଆମେ ଦେଖୁ ଯେ $\sigma = ne^2 r/m$ ଏ ମଡେଲ ପାଇଁ ହେବ ଓ ମନ୍ଥରକାରୀ ବଳ ଶବ୍ଦରେ କାର୍ଯ୍ୟ ହେଲେ ଜୋଲ ତାପ ମିଳି ପାରିବ ବୋଲି ଆମେ ଅନୁମାନ କରିବା ।

ମନେକର ଗୋଟିଏ ଅପରିବର୍ତ୍ତନଶୀଳ ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ର E_xର ଗୋଟିଏ ଅପରିବର୍ତ୍ତନଶୀଳ ସ୍ରୋତ ସାନ୍ଦ୍ରତା j_x ଅଛି ଓ ଏହା ଦ୍ୱାରା ତାଡ଼ିତ ଗତିବେଗ v_d (୦)ର ଅନୁରୂପ । $t = 0$ ଠାରେ କ୍ଷେତ୍ରଟିକୁ ହଠାତ କାଟି ଦେବା । ତେଣୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗୁଡ଼ିକ $d\,(mv_d)/dt = -\,mv_d/T$ ଅନୁସାରେ ହ୍ରାସପ୍ରାପ୍ତ ହେବ; ଏଥିରୁ ମିଳିବ

$$v_D(t) = v_D\,(0)\,e^{-t/T} \qquad (୨୧\cdot୫)$$

ଧ୍ରୁବ Tକୁ ଅବସର ସମୟ କୁହାଯାଏ, କାରଣ ଏହାର ବମିଥ ସମୟର ବମିତ ଓ ସମୀକରଣ (୨୧.୫)ରେ ଏହା ସମୟର କାର୍ଯ୍ୟ କରେଥାଏ । ଧାତୁମାନଙ୍କ ପାଇଁ T ଅତି କମ୍, କାରଣ ଗୋଟିଏ ଅପ୍ରତିରୋଧୀ ସର୍କିଟରେ ଅତଶୀଘ୍ର ସାମ୍ୟାବସ୍ଥା ଆସି ଯାଇଥାଏ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ଯଦି ଆମେ ତମ୍ବାପାଇଁ ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ମୂଲ୍ୟ $\sigma = 6 \times 10^7$ mhos/m ନେଉ ଓ ଅନୁମାନ କରୁ ଯେ, ପ୍ରତି ପରମାଣୁ ଗୋଟିଏ ଲେଖାଏଁ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଦେଇଥାନ୍ତି, ଆମେ ଦେଖୁ

$$T \approx 2 \times 10^{-14}\ s.$$

ବୈଦ୍ୟୁତିକ ପରିବହନଶୀଳତାର ଆଲୋଚନା ପାଇଁ ସ୍ୱର୍ଜ ପରିବାହକମାନଙ୍କର ଗତଶୀଳତା ବ୍ୟବହାର କଲେ ସୁବିଧା ହେବ । ଗତଶୀଳତା μ ହେଲା ତାଡ଼ିତ ଗତିବେଗର ଅଭ୍ରେପିତ ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ର ପ୍ରତି ଅନୁପାତ । ତେଣୁ

$$\mu = \frac{v_d}{E} = \frac{eT}{m} = \frac{\sigma}{ne} \qquad (୨୧\cdot୭)$$

ସ୍ୱର୍ଜ ପରିବାହକମାନଙ୍କର ଗତଶୀଳତା ସିଧାସଳଖ ମାପ କରାଯାଇପାରେ, ଆମେ ଏହା ଅନୁ: ୨୨.୧ରେ ଦେଖିପାରିବା ।

କୌଣସି ପଦାର୍ଥ ପାଇଁ ରୋଧକତା ρ ପରିବହନଶୀଳତାର ବ୍ୟୁତ୍କ୍ରମ ଏବଂ ସମୀକରଣ (୨୧.୪)ରୁ ମିଳିବ,

$$\rho = \frac{1}{\sigma} = \frac{m}{ne^2T} \qquad (୨୧\cdot୭)$$

ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନର କଣିକା ମଡେ଼ଲ ଅନୁସାରେ ଆୟନ ଅନ୍ତଃସ୍ଥଳମାନଙ୍କ ସହିତ ଆଘାତ ଫଳରେ T ହୋଇଥାଏ; ତରଙ୍ଗ ଦୃଷ୍ଟିକୋଣରୁ ଆମେ ଜାଣୁ ଯେ, ଫୋନନମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ତରଙ୍ଗ ପ୍ୟାକେଟ୍‌ଟି ବକ୍ରୀଭୂତ ହୋଇଥାଏ ବା ସ୍ଫଟିକ ମଧ୍ୟରେ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଗତି କଲାବେଳେ ସ୍ଫଟିକର ତ୍ରୁଟି ବା ଏଥିରେ ଥିବା ଦୂଷିତ ପଦାର୍ଥ ଦ୍ୱାରା ଏହା ଘଟିଥାଏ । ଏହାଦ୍ୱାରା ଯେ କୌଣସି ମଡେ଼ଲରେ ଗୋଟିଏ ସାଧାରଣ ଧାତୁର ରୋଧକତାକୁ ମୋଟାମୋଟି ଦୁଇଟି ପଦରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରିବ,

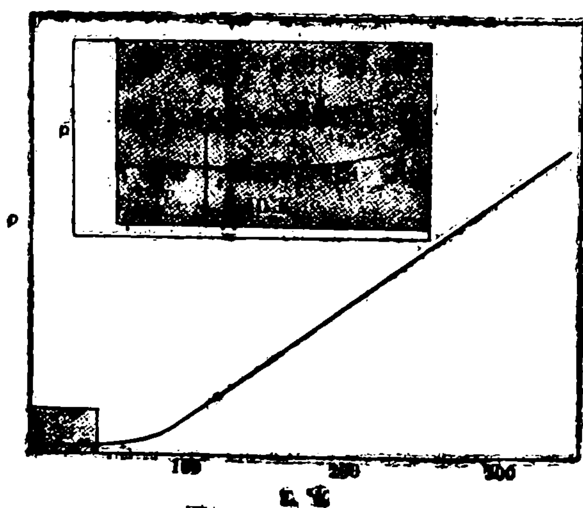
$$\rho = \rho_1 + \rho_2 \qquad (୨୧.୮)$$

ଏଠାରେ ρ_1 ହେଲା ସ୍ଫଟିକର ଦୂଷିତତା ଓ ତ୍ରୁଟିଗୁଡ଼ିକ ସହିତ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଫଳରେ ମିଳୁଥିବା ଅବଦାନ ଏବଂ ρ_2 ହେଲା ଫୋନନମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା (ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ତାପଜ ଗତି ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ ଲାଟିସ୍ ଦୋଳନ) । ସମୀକରଣ (୨୧.୮)କୁ ମେଥିସେନ ନିୟମ କୁହାଯାଏ ଏବଂ ରୋଧକତାକୁ ବିଭିନ୍ନ ଉତ୍ସରୁ ମିଳୁଥିବା ଅବଦାନଗୁଡ଼ିକ ଯୋଗ କରାଯାଇ ପାରିବ ବୋଲି ଏଥିରୁ ଜଣାପଡେ଼ । (ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ଅତି ପାତଳ ପରଦା ପାଇଁ ଆଉ ଗୋଟିଏ ପଦ ρ_s ପୃଷ୍ଠତଳ ବିକ୍ଷେପଣ ଅବଦାନ ବାବଦକୁ ଯୋଗ କରାଯାଇଥାଏ । ପ୍ରଥମ ପଦ ρ_1ଟି ପ୍ରଧାନତଃ ତାପମାତ୍ରାର ଅନିର୍ଭରଶୀଳ; କିନ୍ତୁ ρ_2 ଟି ତାପମାତ୍ରା ଉପରେ ନିର୍ଭରଶୀଳ ।

ବହୁ ଧାତୁ ପାଇଁ ρ ତାପମାତ୍ରା ଉପରେ ମୋଟାମୋଟି ଚିତ୍ର ୨୧.୯ର A ରେଖା ପରି ନିର୍ଭର କରେ । T = 0 ପାଖରେ, ρ_2 ହ୍ରାସ । Tର ବୃଦ୍ଧି ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଲାଟିସ୍‌ର ଅସ୍ଥିରତା ସ୍ଫଟିକ ମଧ୍ୟରେ ଫୋନନମାନଙ୍କର ଗତି ଫଳରେ ଅଧିକ ହୋଇଯାଇଥାଏ । ପରିବାହୀ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ସବୁ ଏହି ଫୋନନମାନଙ୍କ ସହ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଘଟାଇଥାଏ, ଏହାଦ୍ୱାରା ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନମାନଙ୍କରୁ ଶକ୍ତି ବାହାରି ଯାଇଥାଏ । ଡିବାଇ ତାପମାତ୍ରା (θ) ତୁଳନାରେ ସାନ T ପାଇଁ, ρ_2 ମୋଟାମୋଟି ଭାବରେ ପରମ ତାପମାତ୍ରାର ପଞ୍ଚମ ଘାତ ଅନୁସାରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇଥାଏ । (θ) ତୁଳନାରେ ଉଚ୍ଚ ତାପମାତ୍ରାରେ ଲାଟିସ୍‌ର ଅବଦାନ ପ୍ରଧାନତଃ Tକୁ ଅନୁପାତୀ ହୋଇଥାଏ । ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ପରିମାଣରେ ବିଶୁଦ୍ଧ ଧାତୁମାନଙ୍କ ପାଇଁ ρ_1 କୋଠରୀର ତାପମାତ୍ରାରେ ρ_2 ତୁଳନାରେ ସାନ ହୋଇଥାଏ ।

ତେଣୁ P ମୋଟାମୋଟି ଭାବରେ Tର ଏକ ସରଳରୈଖିକ ଫଳନ । ବହୁ ସଙ୍କର ପାଇଁ P_1 ଅତ୍ୟନ୍ତ ଅଧିକ ଓ P_1 ଉପରେ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ପ୍ରଭାବ ବିସ୍ତାର କରିଥାଏ ।

20ରୁ ଅଧିକ ଧାତୁ ପାଇଁ କୌଣସି ଏକ ସଙ୍କଟ ତାପମାତ୍ରାରେ ରୋଧକତା ହଠାତ୍ ଶୂନ୍ୟକୁ ଖସିପଡ଼େ । ଚିତ୍ର ୬୯.୪ର B ରେଖାରେ ଏହା ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଛି । 1911 ମସିହାରେ ମର୍କର ତାରକାମାନଙ୍କରେ ପରୀକ୍ଷା କଲାବେଳେ ଏହି ଅତି ପରିବହନଶୀଳତା ଘଟଣାଟି ଏଚ୍. କାମେରଲିଙ୍ଗ ଓନେସ୍. ଆବିଷ୍କାର କରିଥିଲେ । ମର୍କରୀ ପାଇଁ ସଙ୍କଟ ତାପମାତ୍ରା T_0 ହେଉଛି $4{\cdot}15°k$ । ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଟେକ୍‌ନେସିୟମର ସର୍ବାଧିକ ସଙ୍କଟ ତାପମାତ୍ରା $(11{\cdot}2°k)$ । ତେବେ ବହୁ ସଙ୍କର ଧାତୁଙ୍କର ଏହାଠାରୁ ଅଧିକ ସଙ୍କଟ ତାପମାତ୍ରା ଅଛି । Nb_3Sn ପାଇଁ ସଙ୍କଟ ତାପମାତ୍ରା । $18°k$ରୁ ସାମାନ୍ୟ ଅଧିକ, ଏହା ଅତି ପରିବହନଶୀଳ ଚୁମ୍ବକ କୋଇଲ ତିଆରିରେ ବହୁଳଭାବରେ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଏ ।



[ଚିତ୍ର ୬୯.୪ ତାପମାତ୍ରାର ଫଳନ ଭାବରେ ଗୋଟିଏ ଧାତୁର ରୋଧକତା । ମଧ୍ୟସ୍ଥଳରେ ଦିଆଯାଇଥିବା ଚିତ୍ରରେ B ରେଖାଟି ଅତିପରିବହନଶୀଳ ହେଉଥିବା ଗୋଟିଏ ଧାତୁ ପାଇଁ ଓ A ରେଖାଟି ଏପରି ନହେଉଥିବା ଗୋଟିଏ ଧାତୁ ପାଇଁ]

21·8 ସମରଫିଲ୍ଡ୍ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ମଡେଲ :

ପଦଓ ପୂର୍ବ ଅନୁଚ୍ଛେଦର ବସ୍ତୁବରୁ ବହୁ ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ଫଳ ମିଳ ପା୍ୟ, ତଥାପି ଧାତବୀୟ ବଶିଷ୍ଟ ତାପ ପନ୍ ଗୁଣମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଏହା ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଅସନ୍ତୋଷଜନକ ଫଳ ଦେଉଅଛୁ । 1928 ମସିହାରେ ସମରଫିଲ୍ଡ୍ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ତତ୍ତ୍ୱ ଓ ଫର୍ମିଡିରାକ ସଂଖ୍ୟାନ ତତ୍ତ୍ୱ ବହୁ ସଫଳତାର ସହିତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗ୍ୟାସ ପ୍ରତି ପ୍ରୟୋଗ କରିଥିଲେ । ଏହି ମଡେଲରେ ଅନୁମାନ କରାଯାଏ ଯେ, ଆୟନ ଅନ୍ତଃସ୍ଥଳର କେବଳ କାର୍ଯ୍ୟ ହେଲା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନରେ ଥିବା ଗତିକୁ ସୁଷମ ଅବସ୍ଥାକୁ ନେବା, ତେଣୁ ସେମାନେ ସତେ ଯେପରି କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହେଉନାହାନ୍ତି । ଏହି ଅନୁମାନରେ କୃତିମତା ଥିଲେ ମଧ୍ୟ ସମରଫିଲ୍ଡ୍ ତତ୍ତ୍ୱ ଧାତବୀୟ ଗୁଣ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଅନେକ କଥା ଠିକ୍ ଠିକ ସ୍ୱରୂପରେ ଦେଇଥାଏ ।

ସମରଫିଲ୍ଡଙ୍କ ଅନୁସରଣରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକୁ ଗୋଟିଏ ବାକ୍ସ ମଧ୍ୟରେ ପାରସ୍ପରିକକ୍ରିୟାବିହୀନ କଣିକା ସ୍ୱରୂପରେ ଚନ୍ତା କରିବା । ଅନୁ: ୧୩·୭ରେ ଏହି ସମସ୍ୟା ଗୋଟିଏ L ପାର୍ଶ୍ୱବିଶିଷ୍ଟ ସମଘନ ବାକ୍ସ ପାଇଁ ସମାଧାନ କରାଯାଇଅଛି । ଏଥିରୁ ସମୀକରଣ (୧୩·୨୨କ) ଅନୁସାରେ ଅନୁମତି ଶକ୍ତିଗୁଡ଼ିକ ହେଲା

$$E = \frac{P^2}{2m} = \frac{h}{8mL^2}\,(n_x^2 + n_y^2 + n_z^2)$$

$$= \frac{h^2 n^2}{8mL^2} \qquad (୨୧·୯)$$

ଏଠାରେ, n_x, n_y, ଓ n_zଗୁଡ଼ିକ ଯୁକ୍ତ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା । ବାକ୍ସଟି ପାଇଁ ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକର ସାନ୍ଦ୍ରତା $g(E)$ ଆମେ ହିସାବ କରିବାକୁ ଇଚ୍ଛା କରୁ, ଏଠାରେ $g(E)\,dE$ ହେଲା E ଓ $E+dE$ ଶକ୍ତି ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରତି ଘନ ଏକକ ପାଇଁ ଅନୁମତିଦ୍ଧ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକର ସଂଖ୍ୟା n ଓ $n+dn$ ମଧ୍ୟରେ nଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ n_x, n_y ଓ n_zର ମୂଲ୍ୟଗୁଡ଼ିକର ସଂଖ୍ୟା $\frac{1}{8}(4)\pi n^2/dn$ । ଚିତ୍ର ୫·୪କୁ ଦେଖିଲେ ଏହା ଜଣାପଡ଼ିବ । ଯେହେତୁ n_x(n_y, n_zର ପ୍ରତି ମୂଲ୍ୟପାଇଁ ଦୁଇଟି ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଅବସ୍ଥା ରହୁଅଛି, n ଓ $n+dn$ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା n ପାଇଁ ପ୍ରତି ଘନ ଏକକରେ ସ୍ତର ମାନଙ୍କର ମୋଟ ସଂଖ୍ୟା

$$g(n)\,dn = \frac{2\,(4)\pi n^2 dn}{8V} \qquad (୨୧·୧୦)$$

ଏବଂ ସମୀକରଣ (୨୧'୯)କୁ ବ୍ୟବହାର କର

$$g(E)\,dE = \frac{\pi}{V}\,\frac{8ml^2E}{h^2}\,\frac{\sqrt{2ml^2}}{h}\,\frac{dE}{2\sqrt{E}}$$

$$= \frac{2^{\frac{7}{2}}\pi m^{\frac{3}{2}}}{h^3}\sqrt{E}\,dE \qquad (୨୧.୧୧)$$

ଚିତ୍ର ୨୧'୧୦ରେ ବିନ୍ଦୁଯୁକ୍ତ ରେଖା $g(E)$କୁ Eର ଫଳନ ଭାବରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି ।

E ଓ $E+dE$ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ଶକ୍ତିଯୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସଂଖ୍ୟା ପ୍ରତି ଘନଏକକ ପାଇଁ $N(E)dE$ । ଏହା $g(E)dE$ ଓ E ଶକ୍ତିର ଗୋଟିଏ ସ୍ତର ଅଧିକୃତ ହେବାର ସମ୍ଭାବନା । ଏ ଦୁହିଙ୍କର ଗୁଣଫଳ ସହିତ ସମାନ । ପରେକ୍ତି ଫର୍ମିଫଳନ $f(E)$ ଓ ଏହି ସମୀକରଣ (୨୦'୧୬କ) ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ । ତେଣୁ

$$N(E)\,dE = g(E)\,f(E)\,dE = \frac{2^{\frac{7}{2}}\pi m^{\frac{3}{2}}\sqrt{E}\,dE}{h^3\left(e^{(E-E_f)/kT}+1\right)}$$

(୨୧'୧୨)

ଏଠାରେ E_F ହେଲା ଫର୍ମି ଶକ୍ତି ।

ସମରଫିଲ୍ଡ଼ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ କୌଣସି ଧାତୁ ପାଇଁ ଫର୍ମି ଶକ୍ତି E_F ହିସାବ କରିବାକୁ, ଆମେ $0°k$ଠାରେ ଧାତୁଟି ବିଷୟ ବିଚାର କରିବା । ଏତେବେଳେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗୁଡ଼ିକ ନ୍ୟୂନତମ ଶକ୍ତିସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ଅଧିକାର କରି ରହିଥାନ୍ତି ଏବଂ $E<E_F$ ପାଇଁ $f(E)$ଟି 1 ହୁଏ ଏବଂ $E>E_F$ ପାଇଁ ଏହା 0 ହୁଏ । ତେଣୁ $0°k$ରେ E_F ତଳକୁ ସବୁ ସ୍ତର ଅଧିକୃତ ହୋଇଥାଏ ଓ E_F ଉପରକୁ ସବୁ ସ୍ତର ଅନଧିକୃତ ଥାଏ । ଚିତ୍ର ୨୧'୧୦ରେ $0°k$ରେ $N(E)$ ବାଲୁଙ୍ଗା ରେଖାଦ୍ୱାରା ସୂଚିତ ହୋଇଅଛି । ଯଦି କଠିନ ପଦାର୍ଥରେ ପ୍ରତି ଘନ ଏକକ ପାଇଁ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ସଂଖ୍ୟା n ଦ୍ୱାରା ସୂଚିତ ହୁଏ, ଏହା ସ୍ପଷ୍ଟ ଯେ,

$$n = \int_0^{E_F} N(E)\,dE = \frac{2^{\frac{7}{2}}\pi m^{\frac{3}{2}}}{h^3} \int_0^{E_F} \sqrt{E}\,dE$$

$$= \frac{2^{\frac{7}{2}}\pi m^{\frac{3}{2}}}{3h^3} E^{\frac{3}{2}}$$

ଏଥିପାଇଁ

$$E_F = \frac{3^{\frac{2}{3}} h^2}{8\pi^{\frac{2}{3}} m} n^{\frac{2}{3}} = 3{\cdot}65 \times 10^{-19} n^{\frac{2}{3}} eV \qquad (୨୧.୧୩)$$

ସୋଡ଼ିୟମ ପରି ପ୍ରତି ପରମାଣୁ ଲାଗି ଗୋଟିଏ ଲେଖାଏଁ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଥାଆନ୍ତି, ଆମେ n ସହଜରେ ବାହାର କରି ପାରିବା । ଏହାର ସାନ୍ଦ୍ରତା ହେଲା 971 kg/m^3, ପାରମାଣବିକ ଓଜନ ହେଲା 22·99, ତେଣୁ $n = 6{\cdot}02 \times 10^{26} \times 971/22{\cdot}99 m^{-3}$ ଓ $E_F = 3{\cdot}16 eV$ । ସେହିପରି ଅନ୍ୟ ଏକ ସଂଯୋଜକ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କ ପାଇଁ ହିସାବ କଲେ ଫଳ ମିଳିବ,

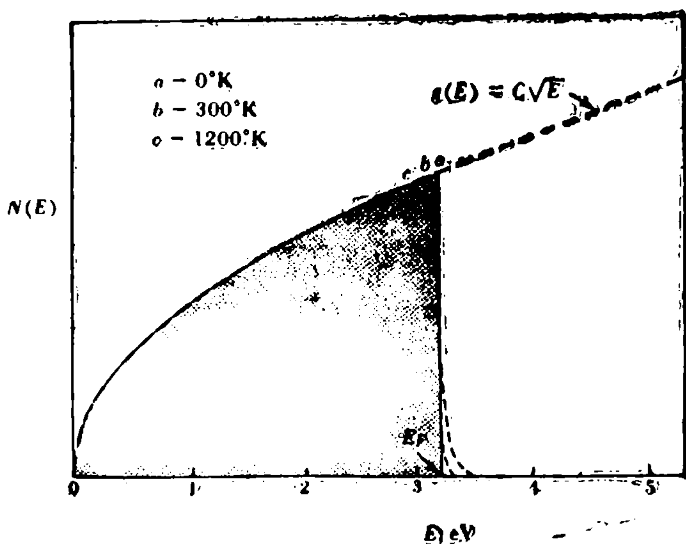
ଧାତୁ	Li	K	Rb	Cs	Cu	Ag
E_F, eV	·72	2·14	1·82	1·53	7·04	5·51

ଏପରି କି 0°k ଠାରେ ବହୁ ପରିବାହୀ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଙ୍କର ଗତିଜ ଶକ୍ତି 3eVରୁ ଅଧିକ ହୋଇଥାଏ, କାରଣ ଏହି ମଡ଼େଲ ଅନୁସାରେ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ଶୂନ୍ୟ ହୋଇଥାଏ । Na ପାଇଁ E_F ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଗତିବେଗ $1{\cdot}05 \times 10^6 m/s$ ଠାରୁ ଅଧିକ ମୂଲ୍ୟର ଅନୁରୂପ । 0°kରେ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ହାରାହାରି ଗତିଜ ଶକ୍ତି

$$\bar{E} = \frac{\int_0^{E_F} E N(E)\,dE}{\int_0^{E_F} N(E)\,dE} = \frac{\int_0^{E_F} E^{\frac{3}{2}} dE}{\int_0^{E_F} E^{\frac{1}{2}} dE} = \frac{\frac{2}{5}E_F^{\frac{5}{2}}}{\frac{2}{3}E_F^{\frac{3}{2}}}$$

$$= \frac{3}{5} E_F \qquad (୨୧.୨୪)$$

ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ ।



[ଚିତ୍ର ୨୧'୧୦ ମୋଟା ଭଙ୍ଗାରେଖା g (E) ଦେଖାଉଛି । ଏହା E ଶକ୍ତିଠାରେ ପ୍ରତି ଏକକ ଶକ୍ତି ପରିସର ପାଇଁ ପ୍ରତି ଘନ ଏକକରେ ଅନଧିକୃତ ଶକ୍ତିସ୍ତର-ଗୁଡ଼ିକର ସଂଖ୍ୟା । ହାଲୁକା ରେଖାଟି N (E) = g (E) f (E) ସଂଖ୍ୟା ସୂଚାଉଛି । ଏହା 0°kରେ ପ୍ରତି ଏକକ ଶକ୍ତି ପରିସର ପାଇଁ ପ୍ରତି ଘନ ଏକକରେ ଅଧିକୃତ ଶକ୍ତିସ୍ତରଗୁଡ଼ିକର ସଂଖ୍ୟା ହାଲୁକା ଭଙ୍ଗାରେଖାଗୁଡ଼ିକ ଉଚ୍ଚ ତାପମାତ୍ରାମାନଙ୍କରେ N(E) ସୂଚାଉଛି ।

ଯେତେବେଳେ ତାପମାତ୍ରା ବଢ଼ାଇ ଦିଆଯାଏ, E_f ପାଖାପାଖି ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ କେତେକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଉଚ୍ଚତର ଶକ୍ତି ସ୍ତରକୁ ଉଠିଯାନ୍ତି; ସେତେବେଳର N (E) ରେଖା ଚିତ୍ର ୨୧·୧୦ରେ (b) ଓ (c)ରେ ଭଙ୍ଗା ରେଖାଦ୍ୱାରା ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । 290°kଠାରେ kT ହେଲ କେବଳ 0·025eV । E_fଠାରୁ 1·1kT ପରିମାଣର ଅଧିକ ଶକ୍ତି ହେବାପାଇଁ f (E)$\frac{1}{4}$; E_f ଠାରୁ 1·1kT କମ୍ ଶକ୍ତି ହେବାପାଇଁ f (E)$\frac{3}{4}$ [ଯାହାପାଇଁ f (E) = $\frac{1}{2}$ E_f ତାହା ପାଇଁ Eର ମୂଲ୍ୟ ଦେଉଥାଏ] । Tର ବୃଦ୍ଧିଦ୍ୱାରା ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ମାତ୍ର ଗୋଟିଏ ଅଳ୍ପ ଭଗ୍ନାଂଶ ଶକ୍ତି ଲାଭ କରୁଥିବାରୁ ଓ

ସେଗୁଡ଼ିକମାନେ ଶକ୍ତି ଲାଭ କରନ୍ତି, ସେମାନେ କେବଳ kT ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଗ୍ରହଣ କରୁଥିବାରୁ, ତୋଠସ୍ଥର ତାପମାତ୍ରାରେ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନେ କାହିଁକି ବଶିଷ୍ଟ ତାପକୁ ଅଳ୍ପ ଅବଦାନ ଦେଇଥାନ୍ତି, ତାହା ସ୍ପଷ୍ଟ ବୁଝାପଡ଼େ ।

ସମରଫିଲ୍ଡଙ୍କ ମଡ଼େଲକୁ ଲରେଞ୍ଜଙ୍କର ମଡ଼େଲ ସହିତ ଆମେ ବର୍ତ୍ତମାନ ତୁଳନା କରିବା ଅବସ୍ଥାକୁ ଆସିଥାଉଁ । ଲରେଞ୍ଜ ଅନୁମାନ କରିଥିଲେ ଯେ, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ହାରାହାରି ଗତିଜଶକ୍ତି $k=\frac{3}{2}kT$ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ । 300°k ଠାରେ ଏହା 0·04 eV ଠାରୁ କମ୍ ହେବ; କିନ୍ତୁ ସମରଫିଲ୍ଡଙ୍କ ତତ୍ତ୍ୱ ଏହି ଶକ୍ତିରୁ କେତେକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସେଲ୍ଟ ବୋଲି ପ୍ରକାଶ କରିଥାଏ । ଅନ୍ୟପକ୍ଷରେ, ପୁରାତନ ତତ୍ତ୍ୱ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ପ୍ରତି କିଲୋମୋଲ୍‌କୁ ବଶିଷ୍ଟ ତାପ ବୋଲି ଦେଇଥାଏ, କିନ୍ତୁ ନୂତନତର ମଡ଼େଲ ପରିମାଣରେ ବହୁତ ମାତ୍ରା କମ୍ ଦେଇଥାଏ ।

ଗୋଟିଏ କପର ପରିବାହୀରେ ସ୍ରୋତ ଥିବାର ବିଚାର କର । ହାରାହାରି ତାଡ଼ନ ଗତିବେଗ ସାଧାରଣ ସ୍ତରରେ ସେକେଣ୍ଡକୁ ମିଲିମିଟର କୋଟିର ହୁଏ; କିନ୍ତୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ମାନଙ୍କର ହାରାହାରି ବେଗ ହେଲା ପ୍ରାୟ $1{\cdot}2\times10^6 m/s$ । କୌଣସି ଆରୋପିତ କ୍ଷେତ୍ର ନଥିଲେ, ହାରାହାରି ବେଗ ଅତିବେଶୀ ହେଲେ ମଧ୍ୟ ହାରାହାରି ଗତିବେଗ ଶୂନ୍ୟ ହେବ । କୌଣସି ଧାତୁରେ ସର୍ବାମ ତାଡ଼ନ ଗତିବେଗ ବାୟୁମଣ୍ଡଳରେ ପବନର ଅନୁରୂପ; ବାୟୁରେ ଅଣୁଗୁଡ଼ିକ ଓ ଧାତୁରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ସର୍ବଦା ଅତ୍ୟଧିକ ବେଗରେ ରହିଥାନ୍ତି । ପ୍ରତ୍ୟେକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଇତସ୍ତତଃ ଗତିବେଗ ବଣ୍ଟନ ଉପରେ ଯେତେବେଳେ କୌଣସି ସାମାନ୍ୟ ହାରାହାରି ତାଡ଼ନ ଗତିବେଗ ଅଧ୍ୟାରୋପିତ ହେବ, ସେତେବେଳେ ପବନ ବା ସ୍ରୋତ ଦେଖାଯିବ । କପରରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଗଡ଼ମୁକ୍ତ ପଥ λ ଫର୍ମି ଗତିବେଗ v_Fର ମୋଟାମୋଟି T ଗୁଣ ($\rho=0$ ହୋଇଥିବାରୁ ଫର୍ମିଗତିଜ ଶକ୍ତି $k_F=E_F$ର ଅନୁରୂପ ଗତିବେଗ) ଅନୁ: ୨୧·୭ରୁ T ର ମୂଲ୍ୟ ବ୍ୟବହାର କରି ଆମେ ପାଇବା,

$$\lambda_{cu}=2\times10^{-14}s\times1{\cdot}6\times10^{6}m/s$$
$$=3\times10^{-8}m=300A^{\circ}$$

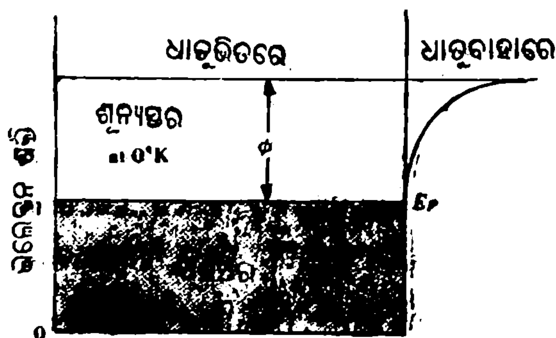
ତେଣୁ ଗୋଟିଏ ସାଧାରଣ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଦୁଇଟି ଆଘାତ ମଧ୍ୟରେ 100 ପାରମାଣବିକ ସ୍ତର ଅତିକ୍ରମ କରିପାରେ ।

ଗୋଟିଏ ଧାତୁ ପାଇଁ ବା ଅନ୍ୟପ୍ରକାରର ଯେକୌଣସି ଫର୍ମି ଗ୍ୟାସ ପାଇଁ ଫର୍ମି ଶକ୍ତି ସ୍ତରମାନେ ତାପମାତ୍ରା ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିଥାଏ (ଚିତ୍ର ୧୯·୨୪ ଦେଖ) । ଯେତେବେଳେ ଯେପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ 0°kଠାରେ ଫର୍ମିଶକ୍ତି kT ତୁଳନାରେ ଅଧିକ ହୋଇଥାଏ, ଏହି ପରିବର୍ତ୍ତନ ବହୁତ କମ୍ ହୋଇଥାଏ, $E_f(T)$କୁ $E_f(T) = E_f(0°k)\left[1 - \frac{\pi^2}{12}\left(\frac{kT}{E_f(0)}\right)^2\right]$

(୧୯·୨୫)

ବୋଲି ପ୍ରକାଶ କରଯାଏ । ଧାତୁଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ E_f ଯେତେକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଭୋଲ୍ଟ ହୋଇଥିବାରୁ ଫର୍ମିଶକ୍ତି ଏହାର 0°k ଠାରେ ଥିବା ମୂଲ୍ୟଠାରୁ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ଭାବରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହେବାପାଇଁ ଅତି ଉଚ୍ଚତାପ ମାତ୍ରାକୁ ଯିବାକୁ ହୋଇଥାଏ ।

ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ମଡ଼େଲ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଏହି ଆଲୋଚନାସ୍ଥଳେ, ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ଶୂନ୍ୟ ବୋଲି ଆମେ ଅନୁମାନ କରୁଛୁ । ତେଣୁ ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡର ନିମ୍ନଦେଶରେ ଆମେ ଶକ୍ତି ଶୂନ୍ୟ ବୋଲି ନେଉଛୁ (ଚିତ୍ର ୧୯·୨୨) । ସୋଡ଼ିୟମ ପାଇଁ ଫର୍ମି ଶକ୍ତି ପ୍ରାୟ 3·2eVଠାରେ



[ଚିତ୍ର ୧୯·୨୨ ସମରୂପିତ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ମଡେଲରେ ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡର ନିମ୍ନଦେଶରେ ସ୍ଥିତିଜଶକ୍ତି ଶୂନ୍ୟ ବୋଲି ନିଆଯାଇଅଛି ଓ 0°kରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ଗତିଜଶକ୍ତିଠାରୁ E_f ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ବ୍ୟାପୀ ରହିଅଛି । ଧାତୁରୁ ଖସି ବାହାରିବା ପାଇଁ ଫର୍ମିର ସ୍ତରର ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଅଧିକ ଶକ୍ତି φ ଦରକାର କରେ । ଏହା ଧାତୁର କାର୍ଯ୍ୟ ଫଳନ]

ହୋଇଥାଏ । ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନକୁ ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡର ଶୀର୍ଷ ଦେଶରୁ ନେଇ ସ୍ଫଟିକଠାରୁ ଅନନ୍ତ ଦୂରକୁ ନେବାପାଇଁ ପ୍ରାୟ 2·27eV ଲାଗିବ । ଏହି ଶକ୍ତି ଫୋଟନମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା (ଆଲୋକ ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରଭାବ), ତାପଦ୍ୱାରା (ତାପଜ ଆୟନୀୟ ବିକିରଣ) ବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ସ୍ଫଟିକଟିକୁ ଆଘାତ କରି (ଦ୍ୱିତୀୟସ୍ତର ବିକିରଣ) ବା ଅନ୍ୟ କଣିକାମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ମିଳିଥାଏ । 0°kରୁ କୋଠରୀର ତାପମାତ୍ରାକୁ ବୃଦ୍ଧି କଲେ, କାର୍ଯ୍ୟଫଳନ ϕ ସାମାନ୍ୟ କମିଥାଏ, କାରଣ ϕ ତୁଳନାରେ kT ସାନ ହୁଏ । ତେବେ, ଯଥେଷ୍ଟ ଉଚ୍ଚ ତାପମାତ୍ରାରେ ଗୋଟିଏ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ସଂଖ୍ୟକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଙ୍କର ଖସି ପଳାଇବାପାଇଁ ଯଥେଷ୍ଟ ଶକ୍ତି ରହିଥାଏ ।

21·9 ତାପଜ ଆୟନୀୟ ବିକିରଣ :

ଧାତୁର ତାପମାତ୍ରା ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଫର୍ମି ପୃଷ୍ଠତଳର ନିକଟରେ ଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଉଚ୍ଚତର ଶକ୍ତିସ୍ତରମାନଙ୍କୁ ଉତ୍ତେଜିତ ହୋଇଥାଏ; ସେଥିପାଇଁ କାର୍ଯ୍ୟତଃ କେତେକଙ୍କର ଶକ୍ତି ଅବରୋଧ ଅତିକ୍ରମ କରି ଖସି ପଳାଇବା ପାଇଁ ଯଥେଷ୍ଟ ହୋଇଥାଏ । ଚିତ୍ର ୨୧·୧୧ରୁ ଆବଶ୍ୟକ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ $E_f+\phi$ ମିଳିଥାଏ; କିନ୍ତୁ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଖସି ପଳାଇବା ପାଇଁ ତା'ର କେବଳ ଏତିକି ଶକ୍ତି ନଥିବ, ଏହା ଆଉ ମଧ୍ୟ ପୃଷ୍ଠଦେଶରେ ପହଞ୍ଚିବାବେଳେ ଏହାର ସଂବେଗ Pର ଉପଯୁକ୍ତ ଦିଗ ହେବା ଦରକାର । ଯଦି $x=0$ ଦ୍ୱାରା ସୂଚିତ ସମତଳ ମଧ୍ୟଦେଇ ଖସି ପଳାଇବା ଆମେ ବିଚାର କରିବା, ସଂବେଗର x ସଂଯୋଜକ ନିଶ୍ଚୟ ସଙ୍କଟ ମୂଲ୍ୟ ସହ ସମାନ ହେବ ବା ତା'ଠାରୁ ଅଧିକ ହେବ

$$p_{x_c}=+\sqrt{2m(E_f+\phi)} \qquad (୨୧·୧୬)$$

କାରଣ ସଂବେଗର y ଓ z ସଂଯୋଜକଗୁଡ଼ିକ ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ ଗତିଜ ଶକ୍ତି ଏହି ପଳାୟନରେ ସାହାଯ୍ୟ କରନ୍ତି ନାହିଁ ।

ବର୍ତ୍ତମାନ ଆମେ ଅନୁମାନ କରିବା ଯେ, $P_x > P_{x_c}$ ସହ ଯେତେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପୃଷ୍ଠଦେଶରେ ପହଞ୍ଚନ୍ତି, ସେସବୁ ତାପଜ ଆୟନୀୟ ସ୍ରୋତରେ ବିକିରିତ ହୁଅନ୍ତି । ତେଣୁ

ବିକିରଣ ସ୍ରୋତର ସାନ୍ଦ୍ରତା j_xର ପରିମାଣ $P_x > P_{x0}$ ହୋଇଥିବା ପ୍ରତି ଘନ ଏକକସ୍ଥ ଇଲେକଟ୍ରନମାନଙ୍କ ସଂଖ୍ୟାର ev_x ଗୁଣ ହେବ । j_xକୁ ହିସାବ କରିବାପାଇଁ ଆମେ ସମୀକରଣ (୨୯·୨୬)ର ଶକ୍ତି ବଣ୍ଟନକୁ $E = P^2/2m$ ବ୍ୟବହାର କରି ସଂବେଗ ବଣ୍ଟନରେ ପରିଣତ କରିବା । ଏହିପରି ପ୍ରତି ଘନ ଏକକରେ P ଓ $P + dP$ ସଂବେଗ ପରିମାଣ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ଇଲେକଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ପାଇ ପାରିବା,

$$N(P)\,dP = \frac{8\pi P^2 dP}{h^3\left(e^{(P/2m - E_f)/kT} + 1\right)} \qquad (୨୯\cdot୨୭)$$

ପ୍ରତି ଘନ ଏକକରେ ସଂବେଗ ସଂଯୋଜକ ସବୁ P_x ଓ $P_x + dP_x$, P_y ଓ $P_y + dP_y$ ଏବଂ P_z ଓ $P_z + dP_z$ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ଇଲେକଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ପାଇବା ପାଇଁ ଆମେ ଚିତ୍ର ୨୯·୨୨କୁ ଦେଖୁଥାଉଁ ଯେ, ସଂବେଗ ବଣ୍ଟନ ଗୋଲକାକାର ଯେ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ହୋଇ ଥିବାରୁ

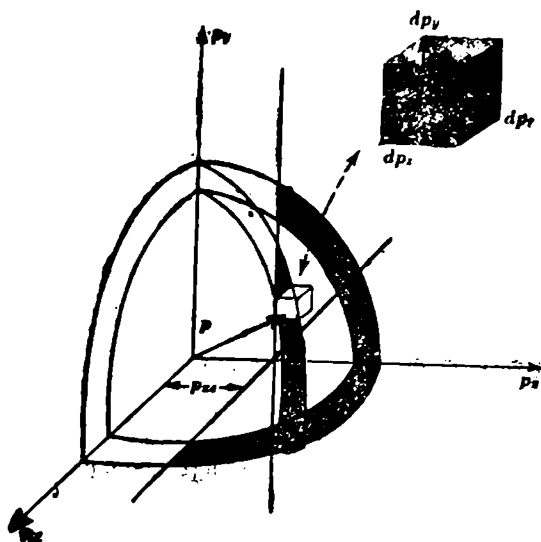
$$N(P_x, P_y, P_z)\,dP_x\,dP_y\,dP_z = \frac{dP_x\,dP_y\,dP_z}{4\pi P^2 dP} N(P)\,dP$$

$$= \frac{2dP_x\,dP_y\,dP_z}{h^3\left(e^{(P^2/2m - E_f)/kT} + 1\right)} \qquad (୨୯\cdot୨୮)$$

ଚିତ୍ର ୨୯·୨୨ରେ $P_x = P_{x0}$ ସମତଳର ଡାହାଣକୁ ଯେଉଁ ଇଲେକଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସଂବେଗଗୁଡ଼ିକ ଥାଏ, କେବଳ ସେହିଗୁଡ଼ିକ ଖସି ପଳାଇ ପାରିବେ । ଆମେ ବର୍ତ୍ତମାନ

$$j_x = \int_{P_x = P_{x0}}^{\infty} \int_{P_y = \infty}^{\infty} \int_{P_z = -\infty}^{\infty} e\frac{P_x}{m} \frac{2dP_x\,dP_y\,dP_z}{h^3\left(e^{[(P_x^2 + P_y^2 + P_z^2)/2m - E_f]/kT} + 1\right)}$$

(୨୯·୨୯) ର ମୂଲ୍ୟ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରି ବିକିରଣ ସ୍ରୋତର ସାନ୍ଦ୍ରତା ବାହାର କରିବା । ଯେହେତୁ $E_f + \phi$ ଠାରୁ ଅଧିକ ଶକ୍ତିଯୁକ୍ତ ଇଲେକଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ପଳାଇ ଯାଇ ପାରିବେ ଓ ଏହି kTର ବହୁଗୁଣ ଅଟେ ହରର ଗୁଣକରୁ ଏକକୁ ବାଦ ଦେଇଦେବା । ଆମେ ଲେଖିବା,



[ଚିତ୍ର ୨୯·୧୨ କେବଳ $P_x > P_{x0}$ ଯୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଧାତୁରୁ ବାହାରି ପାରିବେ । ସଂବେଗ ବଣ୍ଟନ ଗୋଲକାକାରରେ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ହୋଇଥିବାରୁ $dP_x\, dP_y\, dP_z$ରେ ଯେଉଁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସଂବେଗ ଶେଷ ହେଉଅଛି ସେମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ହେଲା $N(P)dP$ ଗୁଣନ $dP_x\, dP_y\, dP_z$ର ଘନର ଗୋଲକାକାର କୋଷ $4\pi P^2 dP$ ପ୍ରତି ଅନୁପାତ]

$$j_x = \frac{2e\, e^{E_f/kT}}{h^3 m}\int_{P_{x0}}^{\infty} P_x\, e^{-P_x^2/2mkT}\, dP_x \int_{-\infty}^{\infty} e^{-P_y^2/2mkT}\, dP_y \int_{-\infty}^{\infty} e^{-P_z^2/2mkT}\, dP_z \qquad (୨୯·୧୯କ)$$

ଏ ତିନୋଟି ସମାକଳ ଗଣାଣୁଣା ଓ ପରିଶିଷ୍ଟ କ ରେ ମୂଲ୍ୟାଙ୍କନ କରାଯାଇଅଛି । ଉପଯୁକ୍ତ ମୂଲ୍ୟ ବସାଇ, $P_{x0} = \sqrt{2m(E_f + \phi)}$କୁ ବ୍ୟବହାର କରି ଆମେ ପାଇବା

$$j = \frac{4\pi m e K^2}{h^3} T^2 e^{-\phi/kT} = A_0 T^2 e^{-\phi/kT} \qquad (୨୯·୨୦)$$

ଏହାହିଁ ତାପଜ ଆୟନୀୟ ବିକିରଣ ପାଇଁ ରିଚାର୍ଡସନ-ଡସ୍‌ମାନ ସମୀକରଣ । ଏଥିରେ ଥିବା A_0 ଗୋଟିଏ ସାର୍ବଜନୀନ ଧ୍ରୁବ ଓ ଏହାର ମୂଲ୍ୟ $1{\cdot}2 \times 10^6/Am^2\,{}^\circ k^2$ ।

ଟେବୁଲ ୨୧.୧ରେ କେତେକ ଅଦର୍ଣାତ୍ମକ ତାପଜ ଆୟନୀୟ ବିକିରଣ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ପରୀକ୍ଷାଫଳ ଦିଆଯାଇଅଛି । T ସହିତ jର ଫଳନାତ୍ମକ ପରିବର୍ତ୍ତନ ସମୀକରଣ (୨୧.୧୪)ରେ ଉତ୍ତମରୂପେ ବର୍ଣ୍ଣିତ ହୋଇଅଛି; କିନ୍ତୁ A_0ର ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ମୂଲ୍ୟ ଅଧିକାଂଶ ଧାତୁ ପାଇଁ ପାରମାଣବିକ ଧ୍ରୁବମାନଙ୍କରୁ ହିସାବ କରାଯାଇଥିବା ମୂଲ୍ୟଠାରୁ ଯଥେଷ୍ଟ କମ୍ । ଏହି ତାରତମ୍ୟର ବହୁ କାରଣ ଅଛି । ସେଥିରୁ ଦୁଇଟି ଆମେ ଏଠାରେ ଦେଉଛୁ; (୧) ଆମେ ଅନୁମାନ କରୁଛୁ ଯେ, ଯେଉଁସବୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର $P_x > P_{x0}$ ଥାଇ ପୃଷ୍ଠତଳରେ ପହଞ୍ଚନ୍ତି, ସେ ସମସ୍ତେ ପଳାୟନ କରୁଛନ୍ତି; କିନ୍ତୁ ଆମେ ଜାଣିଛୁ ଯେ (ଅନୁ: ୧୨.୨ ଗୋଟିଏ ପାବଲ୍ଲ ଅବରୋଧଠାରେ କେତେକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସର୍ବଦା ପ୍ରତିଫଳିତ ହୋଇଥାନ୍ତି । (୨) ସ୍ଫଟିକାକାରର ଦିଗ ଅନୁସାରେ କାର୍ଯ୍ୟଫଳନ ϕରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୋଇଥାଏ ଏବଂ ସାଧାରଣତଃ ଯେଉଁ ବହୁ ସ୍ଫଟିକକାର ତାରସବୁ ପରୀକ୍ଷାରେ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଏ, ସେଥିରେ ସ୍ଫଟିକର ପୃଷ୍ଠତଳର ସୁବିଧାଜନକ ଅଂଶରୁ ବହୁ ପରିମାଣରେ ବିକିରଣ ମିଳିଥାଏ ।

ଟେବୁଲ ୨୧.୧ ତାପଜ ଆୟନୀୟ ବିକିରଣ ଧ୍ରୁବ

ବିକିରକୋଷ	A_0, $A/m^2\text{-}{}^\circ K^2$	ϕ, eV
Cr	$0{\cdot}48 \times 10^6$	4·60
Cs	$1{\cdot}6 \times 10^6$	1·8
Mo	$0{\cdot}55 \times 10^6$	4·3
Ni	$0{\cdot}30 \times 10^6$	4·61
Ta	$0{\cdot}55 \times 10^6$	4·19
W	$0{\cdot}60 \times 10^6$	4·52
Ba on *W*	$0{\cdot}15 \times 10^6$	1·56
Cs on *W*	$0{\cdot}32 \times 10^6$	1·36

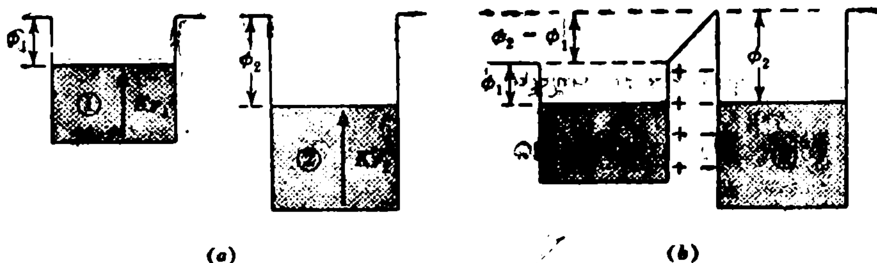
21·10 ଧାତୁଗୁଡ଼ିକ ଲଗାଲଗି ହୋଇଥିଲେ :

ଯେତେବେଳେ ଦୁଇଟି ପରିବାହୀ ଲଗାଲଗି ହୋଇ ରଖାଯାଏ, ସେମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ସ୍ପର୍ଶ ବିଭବ ତାରତମ୍ୟ ଦେଖା ଦେଇଥାଏ । ଏହାର ମୂଲ୍ୟ ସାଧାରଣତଃ ଏକ ଭୋଲ୍ଟର କେତେକ ଭଗ୍ନାଂଶଠାରୁ ଆରମ୍ଭ କରି କେତେକ ଭୋଲ୍ଟ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ହୋଇଥାଏ । ପ୍ରଥମରୁ ପରସ୍ପରଠାରୁ ବହୁ ଦୂରରେ ଥିବା ଦୁଇଟି ଧାତୁ କଥା ବିଚାର କର । ସେମାନଙ୍କର କାର୍ଯ୍ୟଫଳନ ସବୁ ϕ_1 ଓ ϕ_2 ହେଉ ଏବଂ ସେମାନଙ୍କର ଫର୍ମି ଗତିଜ ଶକ୍ତି ଚିତ୍ର ୨୧·୧୩କରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ସେମାନେ ଯେତେବେଳେ ଏକାଠି ହୁଅନ୍ତି । ଧାତୁରୁ 2 ଧାତୁକୁ ଯିବା ଦ୍ୱାରା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନେ ନିମ୍ନ ଶକ୍ତି ସ୍ତରକୁ ଯାଇ ପାରନ୍ତି । ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଯୋଗ କଲେ ଏଥିରେ ଫର୍ମିସ୍ତର ଉପରକୁ ଉଠିଯାଏ, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବାହାରିଗଲେ ଫର୍ମିସ୍ତର ତଳକୁ ଖସିଯାଏ । ଧାତୁରୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ବ୍ୟାପିଯାଇ ଦୁଇ ଧାତୁରେ ଫର୍ମିସ୍ତର ମିଳିଯାଏ (ଚିତ୍ର ୨୧·୧୩ଖ) । ଏହି ଅବସ୍ଥାରେ ପ୍ରତ୍ୟେକପଟୁ ଏକା ସଂଖ୍ୟକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସେହି ପୃଷ୍ଠତଳକୁ ଏକକ ସମୟ ମଧ୍ୟରେ ଅତିକ୍ରମ କରୁଥିବାରୁ ସାମ୍ୟାବସ୍ଥା ଆସିଥାଏ (ଫର୍ମିସ୍ତରରେ ସମତା ତାପଗତିବିଜ୍ଞାନ ଅନୁସାରେ ସମାନ ରାସାୟନିକ ବିଭବର ଅନୁରୂପ) ।

ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ସ୍ଥାନାପନ ଫଳରେ ଧାତୁ 1 ଯୁକ୍ତ ଚାର୍ଜରେ ରହେ ଓ ଧାତୁ 2 ବିଯୁକ୍ତ ଚାର୍ଜରେ ରହେ । ଏହିପରି ସେହି ପୃଷ୍ଠଦେଶରେ ଗୋଟିଏ ବୈଦ୍ୟୁତିକ-ଦ୍ୱିମେରୁ ସ୍ତର ଉତ୍ପନ୍ନ ହୁଏ । ଏହି ସ୍ତରକୁ ଡେଇଁଯିବା ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଯେଉଁ ଅଧିକ ଶକ୍ତି ଦରକାର କରେ ତାକୁ ସ୍ପର୍ଶ ବିଭବ ଶକ୍ତି କୁହାଯାଏ; ଚିତ୍ର ୨୧·୧୩ଠାରୁ ଏହି ଶକ୍ତି ପରିମାଣ $\phi_2 - \phi_1$ ବୋଲି ଦେଖାଯାଉଅଛି ଓ ଅନୁରୂପ ସ୍ପର୍ଶ ବିଭବ ତାରତମ୍ୟ ΔV ହେଲା $(\phi_2 - \phi_1)/e$ । ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଧାତୁ 1ରୁ ଧାତୁ 2କୁ ଗଲେ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ଖର୍ଚ୍ଚରେ ଗତିଜ ଶକ୍ତି ଲାଭ କଲେ ଓ ବିପରୀତ କାର୍ଯ୍ୟ ସିଦ୍ଧ ହୋଇଥାଏ ।

ସ୍ପର୍ଶ ବିଭବ ତାରତମ୍ୟ ମାପ କରିବାର ଗୋଟିଏ ବାଟ ହେଲା ଦୁଇ ଧାତୁରୁ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ସୋଧିତ ସମାନ୍ତର ପ୍ଲେଟ ନେଇ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋମିଟରର ଦୁଇ ମୁଣ୍ଡକୁ ଯୋଗ କର । ଅଳ୍ପ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ବସ୍ତୁ ଦୁଇ ପ୍ଲେଟ୍ ମଧ୍ୟରେ ରଖି ସେଠାରେ ଥିବା ବାୟୁକୁ ଆୟନୀକୃତ କର । ଦୁଇ ମୁଣ୍ଡକୁ ଏକାଠି ଯୋଡ଼ି ଦେଲେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋମିଟରର ଶୂନ୍ୟ

ଯାଠ କର । ତାପରେ ମୁକ୍ତ ଦୁଇଟିଯାକ ଅଲଗା ଅଲଗା ଫର୍ମି ସ୍ତରମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସ୍ଥିର ଜମା ହୋଇ ସେମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ରକୁ ନଷ୍ଟ କରିଦେବା ପରେ ଦ୍ୱିଗୁଣ ଯାଠ କର । ସେତେବେଳକୁ ଅଣୁନଗୁଡ଼ିକର ପ୍ରବାହ ବନ୍ଦ ହୋଇ ଯାଇଥିବ । ଏ ଦୁଇ ଯାଠ ମଧ୍ୟରେ ତାରତମ୍ୟ ହେଲା ସ୍ପର୍ଶ ବିଭବ ତାରତମ୍ୟ । ଯେତେବେଳେ ଫ୍ଲେକଗୁଡ଼ିକ ଲାଗି ଲାଗି ଥିଲା ସେତେବେଳେ ଯେଉଁଠି ଯୁକ୍ତ ଥିଲା, ସେଇଠି ଦ୍ୱିଗୁଣ ଯାଠବେଳେ ବିଯୁକ୍ତ ସ୍ୱର୍ଣ୍ଣ ଦେଖାଇବ । ତେବେ, ଏ ପ୍ରଣାଳୀରେ ସୂକ୍ଷ୍ମ ଯାଉଥିବା ପୃଷ୍ଠଦେଶର ବିଭବ ତାରତମ୍ୟ ଧାତୁମାନଙ୍କର ନିଜ ମଧ୍ୟରେ ବିଭବ ପରିବର୍ତ୍ତନ ଓ ଅନ୍ୟ ବିଭବ ପରିବର୍ତ୍ତନ-ମାନଙ୍କର ବୀଜଗାଣିତିକ ଯୋଗ ବୋଲି ମନେ କରାଯାଇପାରେ । ଅନ୍ୟ ବିଭବ ପରିବର୍ତ୍ତନ ମଧ୍ୟରେ ବୋଧହୁଏ କେତେକ ସମୟରେ ମୂଳତଃ ଭୋଲ୍ଟୀୟ ପରିବର୍ତ୍ତନ ଦେଖାଦିଏ । ଗୋଟିଏ ଧାତୁ ଓ ଏହାର ପୃଷ୍ଠଦେଶରେ ଥିବା ଅକ୍ସାଇଡ଼ ସ୍ତର ବା ଅନ୍ୟ ମିଶିଯାଇଥିବା ଦ୍ରବ୍ୟର ସ୍ତର ମଧ୍ୟରେ ଏହା ଘଟିଥାଏ ।



[ଚିତ୍ର ୬୯'୧୩ ବିଭିନ୍ନ କାର୍ଯ୍ୟଫଳନ ଥିବା ଦୁଇଟି ଧାତୁ (କ) ଦୂରରେ (ଖ) ଲାଗିଲାଗି ହୋଇ । ଯେତେବେଳେ ଦୁଇଟି ଧାତୁ ଲାଗିଲାଗି ହୋଇଥାଏ ଓ ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ଥାଏ, ସେମାନଙ୍କର ଫର୍ମିସ୍ତର ମିଳିଯାଇଥାଏ]

ପ୍ରଶ୍ନାବଳୀ

୧ । ନିମ୍ନଲିଖିତ ଛେଦ ବିଶିଷ୍ଟ ସମତଳଗୁଡ଼ିକର ମିଲରସୂଚକଗୁଡ଼ିକ ବାହାର କର ।

(କ) $6\vec{a}, 2\vec{b}, 3\vec{c}$, (ଖ) $\vec{a}, 2\vec{b}, \infty$ (ଗ) $2\vec{a}, -\vec{b}\ 2\vec{c}$

୨ । ସମସମ କଠିନ ଗୋଲକଗୁଡ଼ିଏ ନିକଟତମ ପଡ଼ୋଶୀମାନଙ୍କୁ ସ୍ପର୍ଶ କରି ରହିବାଦ୍ୱାରା ଗୋଟିଏ ସ୍ଫଟିକ ଗଢ଼ା ହେବା ଅନୁମାନ କର । ଦେଖାଅ ଯେ, ମୁଖକେନ୍ଦ୍ରିକ ସମଘନ ଓ ଷଡ଼ଭୁଜାକାର ସାନ୍ଦ୍ରବେ ଥିବା ସ୍ଫଟିକରେ ଗୋଲକମାନଙ୍କର ଘନର ସ୍ଫଟିକର ଘନ ପ୍ରତି ଅନୁପାତ 0·74, ଦେହକେନ୍ଦ୍ରିକ ସମଘନ ପାଇଁ ଏହି ଅନୁପାତ 0·68, ସରଳ ସମଘନ ପାଇଁ 0·52 ଏବଂ ଡାଏମଣ୍ଡ ଘର ସଜ୍ଜାପାଇଁ 0·34 ।

୩ । ଯେକୌଣସି ସ୍ଫଟିକ ସମତଳର ଏକକ କ୍ଷେତ୍ରଫଳରେ ଥିବା ପରମାଣୁ ସଂଖ୍ୟା ସଂଲଗ୍ନ ସମତଳମାନଙ୍କର ଅନ୍ତର ପ୍ରତି ଅନୁପାତୀ ଦେଖାଅ ।

୪ । ଅଧିକାଂଶ ଅଲ୍‌କାଲି ହାଲାଇଡ୍ *NaCl* ଗଠନ ଅନୁସାରେ ସ୍ଫଟିକାକାର ଧାରଣ କରିଥାଏ । ସେମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ କେତେକଙ୍କର ନିକଟତମ ପଡ଼ୋଶୀମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର ପରସ୍ପରଠାରୁ ଅନ୍ତର ତଳେ ଦିଆଯାଇଅଛି ।

ହାଲାଇଡ୍	*LiF*	*NaF*	*KF*	*licl*	*Nacl*	*Kcl*
ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଅନ୍ତର A°	2·01	2·31	2·67	2·57	2·81	3·14

ଆୟନମାନଙ୍କ ପାଇଁ କଠିନ ଗୋଲକ ମଡ଼େଲ୍ କଳ୍ପନା କର ଓ F^- ଆୟନ ପାଇଁ ଗୋଟିକର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ 1·33·A ଧର, ଏହି ସ୍ଫଟିକମାନଙ୍କର ଅନ୍ୟ ଆୟନଗୁଡ଼ିକର

ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧଗୁଡ଼ିକ ହିସାବ କର । ଆମେ ଜାଣୁ ଯେ ଆୟନଗୁଡ଼ିକ କଠିନ ନୁହେଁ ଏବଂ କଠିନ ପଦାର୍ଥଗୁଡ଼ିକ ସଂକୋଚନଶୀଳ, ତଥାପି କଠିନ-ଗୋଳକ ମଡ଼େଲ କାହିଁକି ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ମୂଲ୍ୟ ଦେଇଥାଏ ।

୫ । ଗୋଟିଏ ସରଳ ସମଘନ ବ୍ୟୂହରେ ଗୁଡ଼ିଏ ସଙ୍କସମ କଠିନ ଗୋଳକ ଲଗାଲଗି ହୋଇ ରହିଥିଲେ, ସେମାନଙ୍କର ମଧ୍ୟସ୍ଥଳରେ ଯେଉଁ ସର୍ବବୃହତ୍ ଗୋଳକଟି ଖାପ ଖାଇ ରହିପାରିବ, ତା'ର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ନିର୍ଣ୍ଣୟକର । ମୁଖକେନ୍ଦ୍ରିକ ଓ ଗର୍ଭକେନ୍ଦ୍ରିକ ସ୍ଫଟିକମାନଙ୍କ ପାଇଁ ସେହିପରି ହିସାବ କର ।

୬ । ଦେଖାଅ ଯେ, ଗୋଟିଏ ସମଘନାକାର ସ୍ଫଟିକରେ (hkl) ମିଲର୍ ସୂଚକ ବିଶିଷ୍ଟ ସମତଳମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ $d_{hkl} = a/(h^2 + k^2 + l^2)^{½}$ ହେବ, ଏଠାରେ a ହେଲା ଲାଟିସ ଧ୍ରୁବ ।

୭ । ଗୋଟିଏ ସମମିତ ଚତୁଷ୍ଫଳକାକାର ପିରାମିଡ଼ର କୋଣମାନଙ୍କରେ ପରମାଣୁ ଥାଇ ଗୋଟିଏ ଡାଏମଣ୍ଡ ସଜ୍ଜାରେ ବନ୍ଧଗୁଡ଼ିକ ପରସ୍ପର ସହ 109·5°କୋଣ କରେ ବୋଲି ଦେଖାଅ ।

୮ । କୋଠରୀର ତାପମାତ୍ରାରେ ସାଧାରଣତଃ ଲୁହା ଗର୍ଭ-କେନ୍ଦ୍ରିକ ସମଘନ ଆକାରରେ ଥାଏ । ପ୍ରାୟ 11·80°k ତାପମାତ୍ରାରେ ଏହା ମୁଖ-କେନ୍ଦ୍ରିକ ସମଘନ ଆକାରକୁ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇଯାଏ । ଯଦି ସାନ୍ଦ୍ରତାରେ କୌଣସି ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୁଏନାହିଁ ବୋଲି ଅନୁମାନ କରିବା ମୁଖକେନ୍ଦ୍ରିକର ପରିବର୍ତ୍ତନରେ ନିକଟତମ ପଡ଼ୋଶୀମାନଙ୍କର ଦୂରତାର ଗର୍ଭକେନ୍ଦ୍ରିକ ଆକାରରେ ଏହି ଦୂରତା ସହିତ ଅନୁପାତ ହିସାବ କର ।

ଉତ୍ତର : 1·029

୯ । ଗୋଟିଏ କେନ୍ଦ୍ରସ୍ଥ K^+ ଆୟନର ଚାରିପାଖରେ ଥିବା କେବଳ ପ୍ରଥମ ସମଘନର ଆୟନଗୁଡ଼ିକୁ ବିଚାରକୁ ନେଇ Kcl ପାଇଁ ମେଡ଼େଲଙ୍ଗ୍ ଧ୍ରୁବର ମୋଟାମୋଟି ମୂଲ୍ୟ ହିସାବ କର । ଏଥିପାଇଁ କୌଣସି ମୁଖରେ ଥିବା ଆୟନର ଅର୍ଦ୍ଧେକ ଚାର୍ଜ ଧାରରେ

ଥିବା ଆୟନର ଏକ ଚତୁର୍ଥାଂଶ ଓ କୋଣରେ ଥିବା ଆୟନର ଏକ ଅଷ୍ଟମାଂଶ ଘନଘନରେ ଅନ୍ତର୍ଗତ ହେବ ବୋଲି ଅନୁମାନ କର ।

ଉତ୍ତର : 1·45

୧୦ । ଦେଖାଅ ଯେ, ଗୋଟିଏ ଏକ ବିମିତୀୟ ଅସୀମ ରେଖାରେ ଯୁକ୍ତ ଓ ବିଯୁକ୍ତ ଆୟନ ସବୁ ଏକାନ୍ତର ଭାବେ ଥିଲେ, ସେଥିପାଇଁ ମେଡ଼ଲଙ୍ଗ ଧ୍ରୁବ $2\ ln\ 2$ ବା 1·386 ହେବ ।

୧୧ । ଯଦି $NaCl$ର ସଯୋଗକାରୀ ଶକ୍ତି ପ୍ରତି ଯୁଗ୍ମ ପାଇଁ 6·61 eV ଓ ତେବେ ପ୍ରତି ଯୁଗ୍ମ ପାଇଁ ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଅନ୍ତର 2·82°A ହୁଏ, ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ ଆକର୍ଷଣ ଶକ୍ତି ଓ ଆୟନ-ଅନ୍ତଃସ୍ଥଳର ବିକର୍ଷଣ ଶକ୍ତି ବାହାର କର । nର ମୋଟାମୋଟି ମୂଲ୍ୟ ସ୍ଥିର କର ।

୧୨ । ତମ୍ବର ସାନ୍ଦ୍ରତା $8940\ kg/m^3$ । ଏଥିରୁ ପ୍ରତି ଘନମିଟରରେ Cu ପରମାଣୁ ସଂଖ୍ୟା, ଫର୍ମି ଗତିଜ ଶକ୍ତି ସମରଫେଲ୍ଡ଼ ମଡ଼େଲ ଅନୁସାରେ ହିସାବ କର । (ପ୍ରତି ପରମାଣୁରୁ ଗୋଟିଏ କରି ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ) । ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ହାରାହାରି ଗତିଜଶକ୍ତି ଓ ଫର୍ମି ଗତିବେଗ ସ୍ଥିର କର (ଫର୍ମି ଗତିବେଗ ଅର୍ଥ ଫର୍ମି ଗତିଜ ଶକ୍ତି ଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ବେଗ) ।

ଉତ୍ତର : $8·47 \times 10^{28}\ m^{-3}$; 7·02 eV; 4·2eV; $1·6 \times 10^6\ m/s$.

୧୩ । No. 12 ତମ୍ବରୁ ଖଣ୍ଡିଏ ତାର ଏହାର ବହିଥିବା ସର୍ବାଧିକ ସ୍ରୋତ ପରିମାଣ 25A ବହନ କରି 50°cରେ ରହୁଅଛି । ସେହି ତାପମାତ୍ରାରେ 1m ଲମ୍ବା ଖଣ୍ଡେ ତାରର ରୋଧକତା ହେଲା 0·0058Ω; ଏହାର ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦର କ୍ଷେତ୍ରଫଳ $3·3 \times 10^{-6}\ m^2$ । ପ୍ରତି ପରମାଣୁର ଗୋଟିଏ ପରିବାହୀ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଅଛି ବୋଲି ଅନୁମାନ କର (କ) ପରିବହନଶୀଳତା σ (ଖ) ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ମୋଟାମୋଟି ତାଡ଼ନ ଗତିବେଗ (ଗ) ଚାଳନ୍ୟ μ ଓ (ଘ) ଗତିମୁକ୍ତ ପଥ ବାହାର କର । (ପୂର୍ବ ପ୍ରଶ୍ନର ଫଳସୂତ୍ରକ ବ୍ୟବହାର କର) ।

୨୪। ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଗ୍ୟାସର ଫର୍ମି ତାପମାତ୍ରା କହିଲେ ଆମେ ବୁଝୁ, ଫର୍ମି ଶକ୍ତି E_Fର ବୋଲ୍‌ଜମାନ k ପ୍ରତି ଅନୁପାତ । ଯେଉଁ ଧାତୁଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ ଅନୁ: ୨୯.୮ରେ ମୋଟାମୋଟି ଫର୍ମିଶକ୍ତି ପରିମାଣରେ ଟେବୁଲରେ ଦିଆ ଅଛି, ସେଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରତ୍ୟେକ ପାଇଁ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ଫର୍ମି ତାପମାତ୍ରା ହିସାବ କର ।

୨୫। ଆଲୁମିନିୟମ ପାଇଁ ପ୍ରତି ପରମାଣୁ ଲାଗି ତିନୋଟି ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଅଛି ବୋଲି ଅନୁମାନ କରି ଫର୍ମି ସ୍ତରର ଶକ୍ତି ହିସାବ କର । (ଆଲୁମିନିୟମର ସାନ୍ଦ୍ରତା ହେଲା $2750 kg/m^3$) କେଉଁ ତାପମାତ୍ରା ପରିସର ମଧ୍ୟରେ ଏହି ଶକ୍ତି $10kT$ଠାରୁ ବଡ଼ହେବ ?

୨୬। କୌଣସି କଠିନ ପଦାର୍ଥରେ ଗୋଟିଏ ଦୁଇ ପରମାଣୁର ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି $P(x) = Ax^2 - Bx^3 - Cx^4$ ଆକାରରେ ଲେଖାଯାଇପାରେ । ଏଠାରେ ପାରମାଣବିକ ଅନ୍ତର ହେଲା $R_0 + x$ ଓ $0°K$ରେ ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାର ସ୍ଥାନରେ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତିକୁ ଶୂନ୍ୟ ବୋଲି ଧରାଯାଇଅଛି । ଦେଖାଅ ଯେ $\langle x\rangle = 3BkT/4A^2$, ଏଠାରେ $|Bx^3 + cx^4|$ଟି Ax ଓ kT ତୁଳନାରେ ଛୋଟ । ସୂଚନା:

$$\langle x\rangle = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} x\, e^{-P(x)/kT}\, dx}{\int_{-\infty}^{\infty} e^{-P(x)/kT}\, dx}$$

ନେଇ ଛୋଟ ପଦଗୁଡ଼ିକୁ ପ୍ରସାର କରି ସମାକଳ କର ।

୨୭। ଗୋଟିଏ ତାପିତ ଆୟତାକାର ବାକ୍ସର ପୃଷ୍ଠତଳକୁ ଲମ୍ବ ଭାବରେ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ବେଗର ବଣ୍ଟନ ଆକାରରେ ମାକ୍ସୱେଲୀୟ ଅର୍ଥାତ୍ ଉକ୍ତ ଧାତୁରେ ଥିବା ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନମାନେ ମାକ୍ସୱେଲ ବୋଲ୍‌ଜମ୍ୟାନ ପରିସଂଖ୍ୟାନ ମାନନ୍ତି ଓ ସେମାନଙ୍କୁ କୌଣସି ଅବରୋଧ ଅତିକ୍ରମ କରିବାକୁ ହୁଏନାହିଁ, ସେଥିରୁ ଯେଉଁ ହାରରେ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ପଳାୟନ କରିବେ ଏ ସଂଖ୍ୟା ତାକୁ ଅନୁପାତୀ । ଦେଖାଅ ଯେ, ଏକ୍ସ ସ୍ଥାନରେ ପଳାଇ ଯାଇଥିବା ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ହାରବେଗର x

ସଂଯୋଜକ ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ ହାରାହାରି ଗତିଜଶକ୍ତି kT, କିନ୍ତୁ y ଓ z ସଂଯୋଜକ ପାଇଁ ଏହା $\frac{1}{2}kT$ ।

୮। ଦେଖାଅ ଯେ, ଯେପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଗୋଟିଏ ଧାତୁର ଫର୍ମି ଗତିଜ ଶକ୍ତି k_Fଟି kT ତୁଳନାରେ ବହୁତ ବଡ଼, ଏହି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ମୋଲାର ତାପ ଧାରକତ୍ୱ ହେବ

$$(C_v)_{el} = \frac{\pi^2 RkT}{2K_F}$$

ଏଠାରେ R ହେବ ସାଧାରଣ ଗ୍ୟାସ-ଧ୍ରୁବ ଏବଂ ଅନୁମାନ କରାଯାଉଛି ଯେ, ପ୍ରତି ପରମାଣୁ ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ରହୁଅଛି ।

ଦ୍ୱାବିଂଶ ଅଧ୍ୟାୟ

ଧାତୁମାନଙ୍କର ବ୍ୟାଣ୍ଡ ମଡେ଼ଲ

ସମରଫେଲ୍‌ଡଙ୍କ ମଡେ଼ଲ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ଫର୍ମି ଗ୍ୟାସ ଆକାରରେ ଆଲ୍‌କାଲି ଧାତୁମାନଙ୍କର ଗୁଣଗୁଡ଼ିକ ଉତ୍ତମ ଭାବରେ ଏବଂ କପର, ସିଲଭର୍ ଓ ଗୋଲ୍‌ଡର ଗୁଣଗୁଡ଼ିକ ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ଭାବରେ ବୁଝାଇ ଦେଇ ପାରିଥିଲା । ଏହି ଧାତୁମାନଙ୍କର ବିଶିଷ୍ଟ ତାପ ଚୁମ୍ବକୀୟ ମୂଲ୍ୟ ଓ ରିଚାର୍ଡ଼ସନ-ଡସ୍‌ମାନଙ୍କର ତାପଜ ଆୟନ ବିକିରଣ ସମୀକରଣ ଏହା ଦେଇଥିଲା; କିନ୍ତୁ ଅନ୍ୟ ଧାତୁମାନଙ୍କର ଓ ସଙ୍କର ଧାତୁମାନଙ୍କର ଗୁଣଗୁଡ଼ିକ ପରିମାଣାତ୍ମକ ଭାବରେ ବୁଝିବାପାଇଁ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଓ ଆୟନ-ଅନ୍ତଃସ୍ଥଳମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାର ବିଚାର ଅତ୍ୟନ୍ତ ଆବଶ୍ୟକ । କେତେକ ଧାତୁର ଗୁଣଗୁଡ଼ିକ ବୁଝାଇବାରେ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ମଡେ଼ଲର ଅପାରଗତା ହଲ୍ ପ୍ରଭାବରେ ନାଟକୀୟ ଭାବରେ ଦେଖାଯାଏ । ଏହି ବିଷୟଟି ଆଲୋଚନା କରିବାରେ ଆମେ ଏହି ଅଧ୍ୟାୟଟି ଆରମ୍ଭ କରିବା । ଯେତେବେଳେ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ୍‌-ଲାଟିସ୍ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ହିସାବକୁ ନିଆଯିବ, ଅତ୍ୟନ୍ତ ଆବଶ୍ୟକ ଥିବା ଅନେକ ଘଟଣା ଏଥିରୁ ମିଳିଯିବ ।

22·1 ହଲ୍ ପ୍ରଭାବ :

ସମରଫେଲ୍‌ଡଙ୍କର ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ତତ୍ତ୍ୱର ଅର୍ଦ୍ଧ ଶତାବ୍ଦୀ ପୂର୍ବରୁ ଓ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଆବିଷ୍କୃତ ହେବାର 15ବର୍ଷରୁ ଅଧିକ ସମୟ ଆଗରୁ ହଲ୍ ପରୀକ୍ଷା କରି ଧାତବୀୟ

ପରିବହନ ଯୁକ୍ତ ବା ବିଯୁକ୍ତ ସ୍ୱର୍ଜ ଲାଗି ସ୍ଥିର କରୁଥିଲେ । 1879 ମସିହାରେ ଗୋଟିଏ ପାତଳ ଧାତୁ ପାତର କେନ୍ଦ୍ରସ୍ଥ ସମବିଭବବାନ୍ ପୃଷ୍ଠତଳର (ଚିତ୍ର ୨୨'୧) ବିପରୀତ ମୁଣ୍ଡ C ଓ D ଠାରେ ବିଦ୍ୟୁତକୁଣ୍ଡଳୀ ଯୋଗ କରି, ସେଥି ମଧ୍ୟରେ ସ୍ରୋତ ପଠାଇଥିଲେ । ଏହି ପାତକୁ ଲମ୍ବ ଭାବରେ ଯେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର B_z ଆରୋପ କରାଯାଏ, ସମବିଭବବାନ୍ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ଘୂରିଯାଏ ଏବଂ C ଓ D ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ବିଭବ ତାରତମ୍ୟ ଗଢ଼ିଉଠେ । ମୁକ୍ତ ଭ୍ରିକ ପାଇଁ ମନେକର ଯେ, ପରିବାହୀଗୁଡ଼ିକ ଯୁକ୍ତ ଓ x ଦିଗରେ ଗତି କରେ । ଲରେଞ୍ଜ ବଳ q (V × B) ତେବେ $-y$ ଦିଗରେ ହୁଏ, ସେଥିପାଇଁ ପ୍ରଥମରୁ ପରିବାହୀଗୁଡ଼ିକ ତଳଆଡ଼କୁ ବିକ୍ଷେପିତ ହୋଇଯାଏ । ଏହା ପାତର ନିମ୍ନଦେଶକୁ (ଓ Dକୁ) ଅଧିକ ଯୁକ୍ତ କରିଦିଏ, କିନ୍ତୁ ଉପର ଅଂଶ (ଓ C) ଅଧିକ ବିଯୁକ୍ତ ହୁଏ । ପରିଣାମୀ ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ର E_y ଉପରଆଡ଼କୁ ହ୍ରାସହ୍ରାସ ଭାବରେ ନିମ୍ନମୁଖୀ ଲରେଞ୍ଜ ବଳ ସହିତ ସମାନ ଗୋଟିଏ ବଳ ପକାଇବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ପୃଷ୍ଠଦେଶରେ ସ୍ୱର୍ଜ ବଢ଼ି ବଢ଼ି ଯିବ । ତେଣୁ ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ

$$I_y \; q \, \mathbf{E}_y + q \, (\mathbf{V} \times \mathbf{B}) = 0 \qquad (୨୨'୧କ)$$

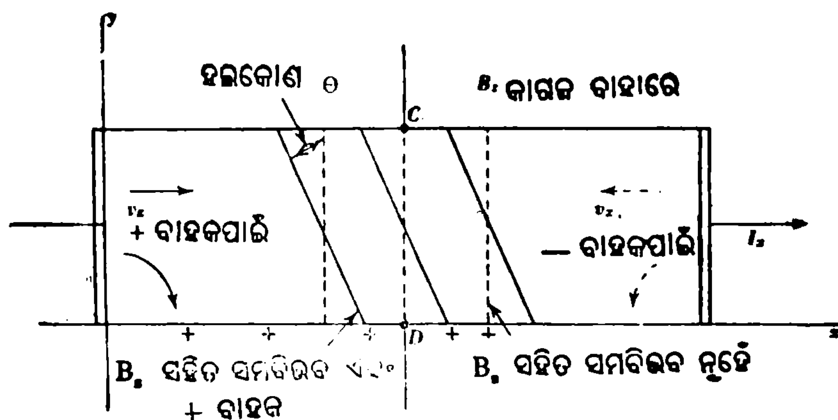
ବା $$E_y = v_x \, B_z \qquad (୨୨'୧ଖ)$$

ଏଠାରେ v_x ପରିବାହୀମାନଙ୍କର ହ୍ରାସହ୍ରାସ ବେଗ (ଏବଂ ସେଥିପାଇଁ ଏହାକୁ ତାପଜ ଗତିବେଗ କହିବା, ଫର୍ମି ଗତିବେଗ କହିବା ନାହିଁ) ।

ବର୍ତ୍ତମାନ ମନେକର ପରିବାହୀଗୁଡ଼ିକ ବିଯୁକ୍ତ । x ଦିଗରେ ସାଧାରଣ ଭାବରେ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଉଥିବା ସ୍ରୋତ ଲାଗି, ବିଯୁକ୍ତ ପରିବାହୀଗୁଡ଼ିକ x ଦିଗରେ ଗତି କରିବେ, ମାତ୍ର ଲରେଞ୍ଜ ବଳ ତଥାପି ନିମ୍ନମୁଖୀ ରହିବ । ଏତେବେଳେ ବିଯୁକ୍ତ ସ୍ୱର୍ଜ ନିମ୍ନଦିଗକୁ ବିକ୍ଷେପିତ ହେବ, D ଟି C ତୁଳନାରେ ବିଯୁକ୍ତ ହେବ ଏବଂ $\vec{E}_y$ ବିଯୁକ୍ତ ହେବ । ତେଣୁ ହଲ୍ ସୂତ୍ର କଲେ ଯେ, ଯଦି ଧାତୁରେ ସ୍ୱର୍ଜ ପରିବାହୀଗୁଡ଼ିକ ଯୁକ୍ତ ହୋଇଥାନ୍ତି, ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ଆରୋପ କଲେ Dଟି C ତୁଳନାରେ ଯୁକ୍ତ ହେବା ଉଚିତ; ଯଦି ପରିବାହୀଗୁଡ଼ିକ ବିଯୁକ୍ତ ହୋଇଥାନ୍ତି, Cଟି D ତୁଳନାରେ ଯୁକ୍ତ ହେବା ଉଚିତ ।

ଆମେ ବର୍ତ୍ତମାନ ହଲ୍. ଅଙ୍କର ସଂଜ୍ଞା ଦେବା,

$$R_H = \frac{E_y}{j_x B_z} \qquad (୨୨.୨)$$



[ଚିତ୍ର ୨୨.୧ ଯୁକ୍ତ ପରିବାହୀଗୁଡ଼ିକ x ଦିଗରେ ଗତି କରି କାଗଜର ସମତଳରୁ ବାହାରକୁ ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରଦ୍ୱାରା ବିକ୍ଷେପିତ ହେଉଛି । ଯେତେବେଳେ ସାମ୍ୟାବସ୍ଥା ମିଳୁଛି, y ଦିଗରେ ଗୋଟିଏ ପ୍ରେରିତ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ତୀବ୍ରତା ମିଳିବ । ଯଦି ସ୍ରୋତ ବିଯୁକ୍ତ ପରିବାହୀ ଯୋଗୁଁ ହୋଇଥାଏ, ତେବେ ପରିବାହୀଗୁଡ଼ିକ ନିମ୍ନ ଦିଗକୁ ବିକ୍ଷେପିତ ହେବ (ତାହାଣରେ ଥିବା ଭଗ୍ନରେଖା) ଓ E_yଟି $-y$ ଦିଗରେ ହେବ]

ଏଠାରେ j_x ହେଲା ସ୍ରୋତ ସାନ୍ଦ୍ରତା; R_Hଟି ଯୁକ୍ତ ପରିବାହୀମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଯୁକ୍ତ ଓ ବିଯୁକ୍ତ ପରିବାହୀମାନଙ୍କ ପାଇଁ ବିଯୁକ୍ତ । ସ୍ରୋତ ସାନ୍ଦ୍ରତା j_x ହେଲା qnv_x, ଏଠାରେ ପ୍ରତି ଏକକ ଘନରେ ପରିବାହୀମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ହେଲା n । ଯଦି ଏହାକୁ ଆମେ ସମୀକରଣ (୨୨.୨)ରେ ବସାଇ ଓ ସମୀକରଣ (୨୨.୧ଖ)କୁ ବ୍ୟବହାର କରୁ, ତେବେ ପାଉ

$$R_H = \frac{1}{nq} \qquad (୨୨.୨କ)$$

ଏହିପରି ଦେଖିଲେ, ଗୋଟିଏ କଣା ଥିବା କ୍ଷେତ୍ର B_zର ଉପସ୍ଥିତିରେ C ଓ D ମଧ୍ୟରେ ବିଭବ ତାରତମ୍ୟର ପରିମାପ, ଆମକୁ କେବଳ ପରିବାହୀର ଚିହ୍ନ ସୂଚାଏ ନାହିଁ, ପ୍ରତି ଏକକ ଘନରେ ପରିବାହୀମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ମଧ୍ୟ ଦେଇଥାଏ, କାରଣ $|q|=e$ ହେଉଛି ଚାର୍ଜର ମୌଳିକ ଏକକ ।

କେତେକ ଧାତୁର ହଲ୍ ଅଙ୍କ ଟେବୁଲ ୨୨·୧ରେ ତାଲିକା କରାଯାଇଅଛି । ଏହା ମଧ୍ୟ ଏଥିରେ R_Hରୁ ପ୍ରତି ପରମାଣୁ ପାଇଁ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସଂଖ୍ୟା ଓ ଧାତୁର ସାନ୍ଦ୍ରତା ଦିଆଯାଇଅଛି । ଆଲ୍‌କାଲି ଓ ଅନ୍ୟ ସ୍ୱଲେନ୍‌ସି 1 ଧାତୁମାନଙ୍କ ପାଇଁ ପ୍ରତି ପରମାଣୁରୁ ଗୋଟିଏ ପରିବାହୀ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ମିଳିବା କଥା ହଲ୍‌ଙ୍କ ପରିମାପ ସହିତ ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ଭାବରେ

ଟେବୁଲ ୨୨·୧ ହଲ୍ ଅଙ୍କଗୁଡ଼ିକ ଓ ଭୋଠାଗର ତାପମାତ୍ରାରେ ପ୍ରତି ପରମାଣୁ ପାଇଁ ଅନୁରୂପ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା

ଧାତୁ	R_H, m^3/c	ପରମାଣୁ ପ୍ରତି ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ
Na	-2.5×10^{-10}	0·99
K	-0.2×10^{-10}	1·1
Cu	-0.55×10^{-10}	1·3
Ag	-0.84×10^{-10}	1·3
Al	-0.30×10^{-10}	3·5
Be	$+2.4 \times 10^{-10}$	−2·2
Zn	$+0.33 \times 10^{-10}$	−2·9
Cd	$+0.60 \times 10^{-10}$	−2·5
Sb	230×10^{-10}	−0·008
Bi	$-75\,0 \times 10^{-10}$	3×10^{-4}

ମିଳିଯାଏ । ତେବେ, ବେରିଲିୟମ, ଜିଙ୍କ୍, କାଡ଼୍‌ମିୟମ୍, ଲେଡ଼୍, ମଲିବ୍‌ଡେନମ ଓ ଅନ୍ୟ ଅନେକ ଧାତୁ ପାଇଁ ହଲ୍ ଅଙ୍କ ଯୁକ୍ତ । • ଧାତୁମାନଙ୍କର ବ୍ୟାଣ୍ଡ ତତ୍ତ୍ୱ ଦ୍ୱାରା ଏହାକୁ ବୁଝାଇବା ପାଇଁ (ଅନୁ: ୨୨·୭) ଅର୍ଦ୍ଧ ଶତାବ୍ଦୀରୁ ଅଧିକ ସମୟ ବିତି ଯାଇଥିଲା ।

ହଲ୍‌ଙ୍କ ପରୀକ୍ଷାରେ ଆମେ ପରିବାହୀମାନଙ୍କର କେବଳ ଚିହ୍ନ ଓ ପ୍ରତି ଏକକ ଘନରେ ସଂଖ୍ୟା ପାଉନାହିଁ, ତାହାଙ୍କୁ ଚାଳନୀୟତା ମଧ୍ୟ ପାଉଥାଉ । μ ମାପ କରିବାର ଗୋଟିଏ ବାଟ ହେଲା, ଯେଉଁ ହଲ୍‌କୋଣ θ ଦେଇ ସମବିଭବବାନ୍ ରେଖାସବୁ ଚୁମ୍ବକ-କ୍ଷେତ୍ରଦ୍ୱାରା ଘୂରିଯାଏ (ଚିତ୍ର ୨୨·୧) ସେହି କୋଣ ମାପ କରିବା । ଏହା କୋଣ



$\tan\theta = \vec{E}_y/\vec{E}_x$ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇଥାଏ । ଯଦି ଆମେ ସମୀକରଣ (୨୨·୨)କୁ ବ୍ୟବହାର କରିବା ଓ ମନେ ପକାଇବା ଯେ $j_x = (nev_x) = ne\mu \vec{E}_x = \sigma \vec{E}_x$, ଆମେ ପାଇବା,

$$\tan\theta = \frac{\vec{E}_y}{E_x} R_H \sigma B_z = \mu B_z \qquad (୨୨·୩)$$

ହଲକୋଣ ଯୁକ୍ତ ପରିବାହୀମାନଙ୍କ ଲାଗି ଯୁକ୍ତ ଓ ବିଯୁକ୍ତ ପରିବାହୀମାନଙ୍କ ଲାଗି ବିଯୁକ୍ତ । ଚାଳନୀୟତାର ପରୀକ୍ଷାରୁ ଅବସର ସମୟ ଓ ଗଡ଼ମୁକ୍ତ ପଥ ସବୁ ହିସାବ କରାଯାଇପାରିବ ।

ହଲ୍ ପ୍ରଭାବ ପ୍ରଥମେ ଧାତୁଗୁଡ଼ିକର ଆଲୋଚନାରେ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇଥିଲା । କିନ୍ତୁ ଅର୍ଦ୍ଧଧାତୁମାନଙ୍କର ଆଲୋଚନାରେ ଏହା ଆହୁରି ଅଧିକ ସାହାଯ୍ୟ କରିଥାଏ । ଧାତୁମାନଙ୍କରେ ପ୍ରତି ଘନ ଏକକ ପାଇଁ ପରିବାହୀମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ତୁଳନାରେ ଅର୍ଦ୍ଧ ଧାତୁମାନଙ୍କରେ ଏମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା କମ୍ ହୋଇଥିବାରୁ, ହଲ୍ ଅଙ୍କଗୁଡ଼ିକ ଓ ହଲ୍ କୋଣଗୁଡ଼ିକ ଅନୁରୂପ ଭାବରେ ବୃହତ୍ତର ।

ହଲ୍ ପ୍ରଭାବର ଏ ସମସ୍ତ ଆଲୋଚନାରେ ଅନୁମାନ କରାଯାଇଅଛି ଯେ, କେବଳ ଗୋଟିଏ ପ୍ରକାରର ପରିବାହୀ ଉପସ୍ଥିତ ଅଛି; କିନ୍ତୁ ଯୁକ୍ତ ହଲ୍ ଅଙ୍କ ଥିବା ଧାତୁମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଓ ବହୁ ଅର୍ଦ୍ଧ ଧାତୁ ପାଇଁ ଏହା ସତ୍ୟ ନୁହେଁ । ଯେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ ପ୍ରକାରରୁ ଅଧିକ ପ୍ରକାରର ପରିବାହୀ ରହିଥାନ୍ତି, ଏହାଠାରୁ ଅଧିକ ବିସ୍ତୃତ ତତ୍ତ୍ୱ ଦରକାର ହୁଏ । ସମୀକରଣ (୨୨·୨କ) ଓ (୨୨·୩) ଆଉ ଗ୍ରହଣୀୟ ହୁଅନ୍ତି ନାହିଁ ।

22·2 ଗୋଟିଏ ନିୟମିତ ଲାଟିସ୍‌ରେ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ :

ଧାତୁମାନଙ୍କର ପ୍ରକୃତ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଅଧିକ ଜ୍ଞାନ ହାସଲ କରିବାପାଇଁ ଓ କେତେକ କାହିଁକି ଯୁକ୍ତ ହଲ୍ ଅଙ୍କ ଲାଭ କରୁଛନ୍ତି ଜାଣିବାପାଇଁ ଆମ୍ଭେ ଅନ୍ତଃସ୍ଥଳଗୁଡ଼ିକ ଲାଟିସ୍‌ରେ

ସକ୍ତା ହେବାଦ୍ୱାରା ସୃଷ୍ଟି ହେଉଥିବା ନିୟମିତ କ୍ଷେତ୍ର ଆମେ ବିଚାରକୁ ନେବା ଦରକାର । ଗୋଟିଏ ଧାତୁର ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଆୟନମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ସୃଷ୍ଟ ବିଭବର ବିଚଳନକୁ ଦୂର କରି ସମାନ କରିବାର ଚେଷ୍ଟା କଲେ ମଧ୍ୟ ସାରା ଧାତୁ ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ଧ୍ରୁବ ବିଭବ ଥିବାର ଅନୁମାନ, ଅବଶ୍ୟାଟିର ଅତ୍ୟନ୍ତ ସରଳୀକରଣ । ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ମଡ଼େଲ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ଧାତବୀୟ ଗୁଣ ସଫଳତାର ସହିତ ବୁଝାଇ ପାରିଥିଲେ ମଧ୍ୟ, ଲାଟିସର ନିୟମିତତାର ପ୍ରଭାବ ବହୁଦୂର ପ୍ରସାରୀ ।

ଏକ ବିମିତରେ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ପାଇଁ ଶ୍ରୁଡ଼ିଞ୍ଜର ସମୀକରଣର ସମାଧାନର ଆକାର (ଅନୁ: ୨୨.୨)

$$\psi = c\, e^{\pm ikx} \qquad (୨୨.୪)$$

ଏଠାରେ k ହେଲା ତରଙ୍ଗସଂଖ୍ୟା, ଏହା $k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{p}{\hbar}$ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ । ତେବେ, ଯଦି ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଉପରେ କାମ କରୁଥିବା ବିଭବ ସ୍ଥାନରେ ନିୟମିତ ହୋଇଥାଏ ଓ ତାର ସ୍ଥାନୀୟ କାଳ ଲାଟିସ୍‌ର a ହୋଇଥାଏ, ବ୍ଲକ୍ ଦେଖାଇଲେ ଯେ ସମାଧାନର ଆକାର ହେବ,

$$\psi = u_k(x)\, e^{\mp ikx} \qquad (୨୨.୪କ)$$

ଏଠାରେ $u_k(x)$ର କାଳ ଲାଟିସର କାଳ; ତେଣୁ

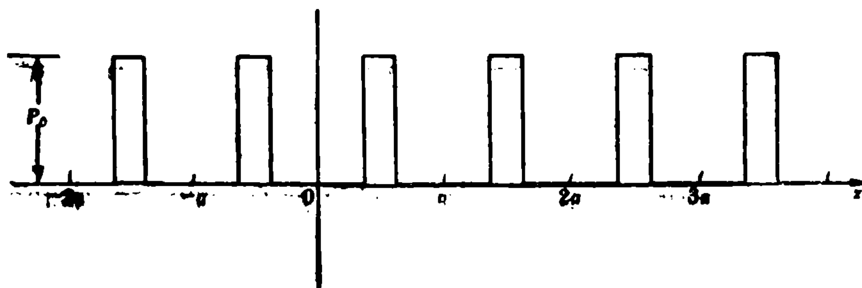
$$u_k(x) = (u_k(x+a) = u_k(x+na)\ n \text{ ଗୋଟିଏ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା} \qquad (୨୨.୫)$$

ସମୀକରଣ (୨୨.୪କ)ର ବ୍ଲକ୍ ଫଳନ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଫଳନ ସମୀକରଣ ୨୨.୪) ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରଭେଦ କେବଳ ଗୋଟିଏ ନିୟମିତ ଫଳନ । ଲାଟିସର ନିୟମିତାର ପ୍ରଭାବ କେବଳ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ସମାଧାନକୁ ମଡ୍ୟୁଲେନ କରିବା, କାରଣ

$$\psi(x+a) = u_k(x+a)\, e^{\pm ik(x+a)} = \psi(x)\, e^{\pm ika} \qquad (୨୨.୬$$

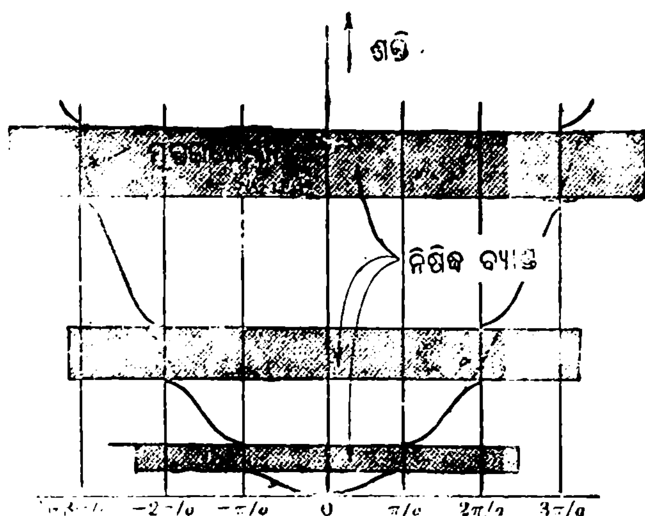
$u_k(x)$ର ବିଶିଷ୍ଟ ଆକାର ସେଥିରେ ଅନ୍ତର୍ଭୁକ୍ତ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ $P(x)$ର ଉପରେ ଓ ତରଙ୍ଗ ସଂଖ୍ୟା k ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିଥାଏ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, କ୍ରନିଂ ଓ ପେନି ଆୟତାକାର ବିଭବ କୂପମାନଙ୍କର ଅୟତାକାର ବ୍ୟୂହ (ଚିତ୍ର ୨୨.୨) ପାଇଁ ଶ୍ରୁଡ଼ିଞ୍ଜର ସମୀକରଣର ସମାଧାନ କରିଛନ୍ତି । ସେମାନେ ଦେଖିଛନ୍ତି ଯେ, ଏପରି ଏକ ନିୟମିତ

ଶେଷରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ କେତେକ ବ୍ୟାଣ୍ଡର ଶକ୍ତି ରହିବ । ହ୍ରସାବରୁ ପୁନଃପୁନଃ ଘଟିବା ଏପରି ଏକ ଜାଲ ଉପରେ ମିଳିବ ଆମେ ଦେଖି ପାରିବା । ବସ୍ତୁତ ଗଭୀର କୂପ ସବୁ



[ଚିତ୍ର ୨୨·୨ ପରସ୍ପରଠାରୁ ଦୂରତାରେ ଥିବା ସଙ୍କୀର୍ଣ୍ଣ ବର୍ଗକୂପଗୁଡ଼ିକର ଏକ ବିମିତିକ ବ୍ୟୂହ ପାଇଁ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି]

ବୃହତ୍ ଦୂରତା ହୋଇଥିଲେ, ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ କାର୍ଯ୍ୟତଃ ଗୋଟିଏ କୂପରେ ବାନ୍ଧି ହୋଇ ରହିଯାଏ । ଏପରି କ୍ଷେତ୍ରରେ ଆଇଗେନ ଶକ୍ତିଗୁଡ଼ିକ ଗୋଟିଏ କୂପର ଆଇଗେନ ଶକ୍ତି ସହ ସମାନ । ଏଥିପାଇଁ ଆମେ ସୁନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଶକ୍ତିସ୍ତର ସବୁ ପାଇଥାଉ (ଅନୁ: ୧୩·୩ ଓ ୧୩·୪) । କୂପଗୁଡ଼ିକୁ ନିକଟତର କଲେ ତରଙ୍ଗଫଳନ ଅବରୋଧକୁ ଅଧିକରୁ ଅଧିକ ଭେଦ କରିପାରେ । ଦୁଇଟି କୂପ ପାଇଁ (ଅନୁ. ୧୯·୫) ଏହା ଗୋଟିଏ ଶକ୍ତିସ୍ତରକୁ ଦୁଇ ଭାଗରେ ଭାଙ୍ଗିଦିଏ; ବହୁସଂଖ୍ୟକ କୂପ ସମଦୂରତାରେ ଥିଲେ ଏହା ଗୋଟିଏ ଶକ୍ତିସ୍ତରକୁ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ ବିସ୍ତାର କରି ଦେଇଥାଏ । ଅଧିକରୁ ଅଧିକ ନିକଟ ହେଲେ ବ୍ୟାଣ୍ଡଗୁଡ଼ିକ ଅଧିକରୁ ଅଧିକ ବିସ୍ତାର ଲାଭ କରିଥାଏ । ଶେଷରେ ଯେତେବେଳେ ଅବରୋଧର ବେଧ ଶୂନ୍ୟକୁ କମିଯାଏ, ଆମେ ଗୋଟିଏ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗୋଟିଏ ଅନନ୍ତ ପ୍ରସ୍ଥ ବିଶିଷ୍ଟ କୂପରେ ପାଉ । ସେତେବେଳେ ସବୁ ଗତିଜଶକ୍ତି ଅନୁମୋଦିତ ହୁଏ । ଚିତ୍ର ୨୨·୩ରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଚିତ୍ର ୨୨·୨ରେ ଦିଆଯାଇଥିବା ଗୋଟିଏ ନିୟମିତ ବିଭବରେ ଶକ୍ତିକୁ kର ଫଳନ ଭାବରେ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ରେଖାଦ୍ୱାରା ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଭଗ୍ନରେଖା Eକୁ kର ଫଳନ ଭାବରେ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଲିମିଟ୍‌ରେ ଦେଖାଯାଇଅଛି ।



[ଚିତ୍ର ୨୨.୩ ବର୍ଗାକାର କୂପମାନଙ୍କର ଗୋଟିଏ ଏକ ବିମିତକ ଲ୍ୟାଟ୍ସ ପାଇଁ ଅନୁମତି ଶକ୍ତିସବୁ (ଚିତ୍ର ୨୨.୨) ତରଙ୍ଗ ଭେକ୍ଟର kର ଫଳନ ସ୍ୱରୂପରେ । kର ଯେଉଁ ମୂଲ୍ୟଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ ବ୍ରାଗ୍ ନିୟମ ପ୍ରଯୁଜ୍ୟ ସେହି ମୂଲ୍ୟଗୁଡ଼ିକରେ ବର୍ଜିତତା ଦେଖାଯାଉଅଛି]

ଗୋଟିଏ ସ୍ଫଟିକ ଅନୁମତି ଶକ୍ତି ବ୍ୟାଣ୍ଡଗୁଡ଼ିକର ଧାରଣା ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ବାଟରେ ମଧ୍ୟ ମିଳିପାରେ । ଏଥିପାଇଁ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନର ତରଙ୍ଗଗୁଣ ପ୍ରତି ବ୍ରାଗଙ୍କ ନିୟମ ଲଗାଇବାକୁ ହୁଏ । ଗୋଟିଏ $k = 2\pi/\lambda$ ତରଙ୍ଗ ସଂଖ୍ୟାଯୁକ୍ତ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଗୋଟିଏ ଏକ ବିମିତକ ଲାଟିସ୍‌ର (ଅନ୍ତର a ବିଶିଷ୍ଟ) ଗତି କରୁ । ଏହି ତରଙ୍ଗ ପାଇଁ ବ୍ରାଗ୍ କୋଣ θ ହେବ 90° ଓ ବ୍ରାଗଙ୍କ ନିୟମଟି ଲେଖାଯାଇ ପାରିବ,

$$n\lambda = \frac{2\pi n}{k} = 2a \sin 90° \qquad (୨୨.୭କ)$$

ବା
$$k = \frac{n\pi}{a} \qquad (୨୨.୭ଖ)$$

ତେଣୁ ତରଙ୍ଗସଂଖ୍ୟା $k = n\pi/a$ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗୋଟିଏ ଏକ ବିମିତକ ସ୍ଫଟିକ ମଧ୍ୟରେ ଗତି କଲାବେଳେ ପ୍ରବଳ ବ୍ରାଗ୍ ପ୍ରତିଫଳନ ଅନୁଭବ କରିଥାଏ । $k = n\pi/a$ ତରଙ୍ଗସଂଖ୍ୟା ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗୋଟିଏ ଚଳଶୀଳ ତରଙ୍ଗ ଭାବରେ ଗୋଟିଏ ଦିଗରେ ଆଗକୁ ଆଗକୁ ଗତି କରିପାରେନାହିଁ, କିନ୍ତୁ ବ୍ରାଗ୍ ପ୍ରତିଫଳନମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ସୃଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ସ୍ଥିର ତରଙ୍ଗ ସେଇ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ । ଯଦି ଆମେ kକୁ $k = 0$ ଠାରୁ ଆରମ୍ଭ କରି ଆସ୍ତେ ଆସ୍ତେ ଆସ୍ତେ ବଢ଼ାଉ ଆମେ ଦେଖୁ ଯେ kର ମୂଲ୍ୟ π/aର ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ ହେବାଯାଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ସ୍ୱଚ୍ଛନ୍ଦରେ ନିସ୍ପନ୍ଦିତ ଏକ ବିମିତିକ ସ୍ଫଟିକ ମଧ୍ୟରେ ଗତି କରିପାରେ; $k = \pi/a$ଠାରେ ପ୍ରବଳ ବ୍ରାଗ ପ୍ରତିଫଳନ ଘଟିଥାଏ । kକୁ ଅଧିକ ଅଧିକ ବଢ଼ାଇଲେ, ତରଙ୍ଗଗୁଡ଼ିକ ପୁଣି ଆଗେଇ ଚାଲେ; ପୁଣି ପ୍ରାୟ $2\pi/a$ ଠାରେ ଦ୍ୱିତୀୟ କୋଟୀର ବ୍ରାଗ ପ୍ରତିଫଳନ ଘଟିଥାଏ ।

22·3 କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ବସ୍ତୁତ୍ୱ :

ଗୋଟିଏ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଗତିଜ ଶକ୍ତି $K = p^2/2m$ । ଏଣୁ $P = h/\lambda = \hbar k$ ହୋଇଥିବାରୁ E ଓ Kର ସାଙ୍ଗ $E = \hbar^2 k^2/2m$ ପାଉଁବୋଲି । ଏହା ସ୍ପଷ୍ଟ ଯେ, ପୂର୍ବୋକ୍ତ ସମୀକରଣଟି ଚିତ୍ର ୨୨·୩ର ମୋଟା ରେଖାଟିକୁ ଲାଗୁ ହେବ ନାହିଁ; ଏହା କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ବସ୍ତୁତ୍ୱ m^*କୁ ନେଇ ଆଲୋଚନା କରାଯାଇପାରେ । କଠିନ ଅବସ୍ଥାର ଭୌତିକୀର ଏହି କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଧାରଣା ବହୁ ପରିମାଣରେ ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇଥାଏ । ଯେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଉପରେ ଗୋଟିଏ ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ର $\vec{E}$ କାର୍ଯ୍ୟକରେ ଏହା $\vec{a} = -e\vec{E}/m$ ପରିମାଣରେ ଏକ ତ୍ୱରଣ ଅନୁଭବ କରେ । ତେବେ, ଗୋଟିଏ ସ୍ଫଟିକ ଉପରେ ଯେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ର କାର୍ଯ୍ୟ କରେ, ଯଦି ସମ୍ଭବ ହୁଏ କେତେକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଙ୍କର $-e\vec{E}/m$ ତ୍ୱରଣ ହୋଇଥାଏ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ କପରର ଗୋଟିଏ k ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଏହାର ପରମାଣୁ ସହିତ ଏପରି ଭାବରେ ବାନ୍ଧି ହୋଇ ରହିଥାଏ ଯେ, ଏହା ଆଦୌ ତ୍ୱରାନ୍ୱିତ ହୁଏନାହିଁ; ଏହାର "କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ବସ୍ତୁତ୍ୱ" ଅସୀମ । କୌଣସି ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁ ସହ ବାନ୍ଧି ହୋଇ ରହି ନଥିବା ଗୋଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ ନିଉଟନଙ୍କ ଦ୍ୱିତୀୟ ନିୟମ ହେବ,

$m\vec{a} = -e\vec{E} +$ ଲାଟିସରେ ଥିବା ଆୟନ ଓ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ହେଉଥିବା ବଳ ଏବଂ ପରେ ଏହି ବଳଗୁଡ଼ିକ ଆମେ ପରମାଣୋଚିତ ଭାବରେ ଜାଣୁନାହିଁ । ଜଳୁ ଆମର ଅଜ୍ଞତାକୁ ସମୀକରଣରେ ବାମପକ୍ଷକୁ ଆଣି ଆମେ ଲେଖି ପାରିବା,

$$m^*\vec{a} = -e\vec{E} \quad (୨୨.୮)$$

ଗୋଟିଏ ଏକ ବିମିତୀୟ ଲାଟିସ୍‌ରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର m^*କୁ ହିସାବ କରିବା । ଏଥିପାଇଁ E ଓ K ଗ୍ରାଫ୍ ଚିତ୍ର ୨୨.୩ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଏହା କରିବାପାଇଁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ତରଙ୍ଗଗୁଣର ଅଶ୍ରୟ ନେବାକୁ ହେବ । ଏହା ଗୋଟିଏ ଦଳ ଗତିବେଗ v_gରେ ଗତିକରେ [ଦେଖ ; ସମୀକରଣ (୧୮.୫)]

$$v_g = \frac{dw}{dk} = \frac{2\pi dv}{dk} = \frac{2\pi}{h}\frac{dE}{dk} = \frac{1}{\hbar}\frac{dE}{dk} \quad (୨୨.୯)$$

ଏଠାରେ ଆମେ $E = h\nu$ ସମ୍ପର୍କଟି ବ୍ୟବହାର କରିଅଛୁଁ । δt ସମୟ ମଧ୍ୟରେ ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ର $\mathbf{E}$ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଉପରେ କାର୍ଯ୍ୟ କରି ଏହାର ଶକ୍ତିକୁ

$$\delta E = -e\vec{E}v_g\,\delta t \quad (୨୨.୧୦)$$

ପରିମାଣରେ ବଢ଼ାଇଥାଏ । କିନ୍ତୁ ସମୀକରଣ (୨୨.୯କ) ଦ୍ୱାରା $\delta E = \hbar\, v_g\,\delta k$ । ତେଣୁ

$$\hbar v_g\,\delta k = -e\vec{E}\,v_g\,\delta t$$

ବା

$$-e\vec{E} = \hbar\frac{dk}{dt} \quad (୨୨.୧୧)$$

ତେଣୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ଉପରେ ବାହ୍ୟ ଆରୋପିତ ବଳ (ଇଲେକ୍ଟ୍ରନକୁ ତରଙ୍ଗ ଭାବରେ ପ୍ରକାଶ କଲେ) ହେଲା $\hbar\frac{dk}{dt}$ । ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ତ୍ୱରଣ ହେଲା [ସମୀକରଣ (୨୨.୯) ଓ (୨୨.୧୧)ରୁ]

$$a = \frac{dv_g}{dt} = \frac{1}{\hbar}\frac{d^2E}{dkdt} = \frac{1}{\hbar}\frac{d^2E}{dk^2}\frac{dk}{dt}$$

$$= \frac{1}{\hbar^2}\frac{d^2E}{dk^2}(-e\vec{E})$$

ଏହାକୁ ସମୀକରଣ (୨୨·୮) ସହିତ ତୁଳନା କଲେ ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ମିଳିବ,

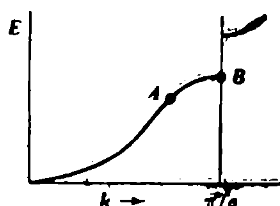
$$m^* = \frac{\hbar^2}{d^2E/dk^2} \qquad (୨୨·୧୨)$$

ଗୋଟିଏ ତ୍ରିବିମିତିକ ସ୍ଫଟିକ ପାଇଁ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ବସ୍ତୁତ୍ୱ

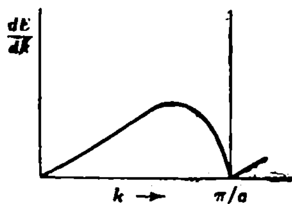
$$m^*_{ij} = \frac{\hbar^2}{\partial^2E/(\partial k_i\,\partial k_j)} \qquad (୨୨·୧୨କ)$$

ଆକାରର ଟେନସର୍‌ରେ ପ୍ରକାଶ କରଯାଇ ପାରିବ ।

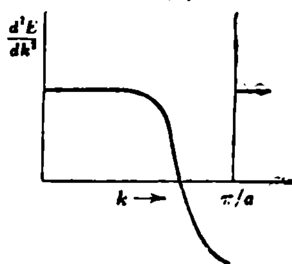
ଆମେ ବର୍ତ୍ତମାନ ଚିତ୍ର ୨୨·୪କରେ $0 \le k \le \pi/a$ ପରିସର ମଧ୍ୟରେ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ବସ୍ତୁତ୍ୱର ଗୁଣ ବିଚାର କରିବା । kର ଛୋଟ ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ ରେଖାଟି ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନର ରେଖା ସହିତ ଅତି ନିବିଡ଼ ଭାବରେ ମିଳିଯିବ; ତେଣୁ $m^* \simeq m$ ହେବ । A ବିନ୍ଦୁଠାରେ ଉପ ନତତା ଓ ସେହି କାରଣରୁ v_g ଏହାର ସର୍ବାଧିକ ମୂଲ୍ୟ ନେବ; $\frac{d^2E}{dk^2} = 0$ ଓ m^* ଅସୀମ ହେବ । A ଓ B ମଧ୍ୟରେ, $\frac{d^2E}{dk^2}$ ବିଯୁକ୍ତ ହେବ, ଏହା m^*ର ବିଯୁକ୍ତ ମୂଲ୍ୟର ଅନୁରୂପ (ଅନୁ: ୨୨·୭ରେ ଆମେ ଦେଖିବା ଯେ, k ସ୍ଥାନର ଏହି ପରିସରକୁ ଯୁକ୍ତ ଚାର୍ଜ ଓ ଯୁକ୍ତ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସହ ଗତିମାନଙ୍କ ସାହାଯ୍ୟରେ ବୁଝିବା ଦରକାର ହେବ) । kଟି π/aର ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ ହେବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ, v_gଟି ୦ର ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ ହେବ ଓ m^*ଟି $-m$ ହେବ । ଏହାର ଗୋଟିଏ ଅର୍ଥ ହୋଇପାରେ ଯେ, ଯେତେବେଳେ k ପ୍ରଧାନତଃ π/a, ଗୋଟିଏ ବ୍ରାଗଣୀୟ କ୍ଷେତ୍ର ଆରୋପ କଲେ ବ୍ରାଗ୍ ପ୍ରତିଫଳନ ମିଳିବ । ତେଣୁ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଉପରେ ଗୋଟିଏ ଦିଗରେ ବଳ ପଡ଼ିଲେ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ବିପରୀତ ଦିଗରେ ସଂବେଗ ଲାଭ କରିଥାଏ; ଏହାର ସ୍ଫଟିକ ସହିତ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଫଳରେ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନର ବିଯୁକ୍ତ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଥିଲା ପରି ସେ ଗୁଣ ଦେଖାଇଥାଏ ।



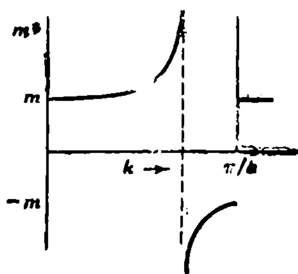
(a)



(b)



(c)



(d)

[ଚିତ୍ର ୨୨.୪ (କ) E (ଖ) dE/dk (ଗ) d^2E/dk^2 ଓ (ଘ) m^* ଚିତ୍ର ୨୨.୨ ଦିଆଯିବା ପରି ଗୋଟିଏ ନମୁନିତ ବକ୍ରବ ଫଳନ ପାଇଁ kର ଫଳନ ସ୍ୱରୂପରେ ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଅଛି]

22·4 ବ୍ରିଲୋଇନ ଜୋନ୍ ;

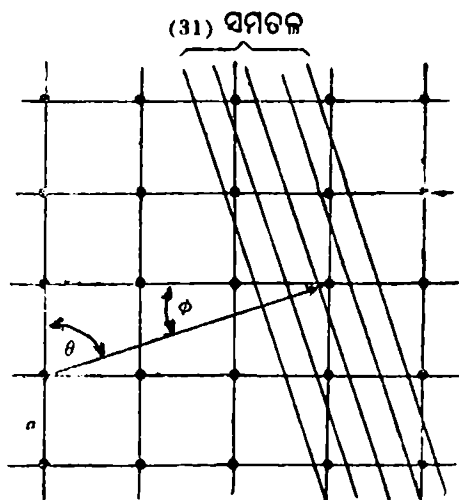
ଚିତ୍ର ୨୨.୫ରେ ଦେଖାଇ ଯାଇଥିବା ଲାଟିସ୍ ପରି ଗୋଟିଏ ଦ୍ୱିବିମିତିକ ବର୍ଗାକାର ଲାଟିସ୍ ବିଚାର କର । [10] ଦିଗରେ ଗତି କରୁଥିବା ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର k ଭେକ୍ଟରର ପରିମାଣ ଯଦି π/a ହୁଏ, ତେବେ ଏହା [10] ସମତଳମାନଙ୍କରୁ ପ୍ରଥମ କୋଟୀର ବ୍ରାଗ୍ ପ୍ରତିଫଳନ ଅନୁଭବ କରିବ । ତେବେ, [10] ସମତଳ ସହିତ θ କୋଣରେ ଗତି କରୁଥିବା ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଏହି ସମତଳମାନଙ୍କଠାରୁ ପ୍ରଥମ କୋଟୀର ବ୍ରାଗ୍ ପ୍ରତିଫଳନ ଅନୁଭବ କରିବ, ଯେତେବେଳେ k ଏହାର ସଙ୍କଟ ମୂଲ୍ୟ k_c ଲାଭ କରିବ ।

$$\frac{2\pi}{k_c} = \lambda = 2a \sin\theta \text{ ବା}$$

$$k_c = \frac{\pi}{a \sin\theta} \qquad (୨୨·୧୩)$$

ତେଣୁ ସଙ୍କଟ k ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟିର ଗତିପଥର ଦିଗ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, [31] ଦିଗରେ ଗତି କରୁଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର $\sin\theta = 3/\sqrt{10}$ ତେଣୁ $k_c[31] = \sqrt{10}\pi/3a$ । ଯେତେବେଳେ θ ଟି 45°ରୁ କମ୍, ସମୀକରଣ (୨୨·୧୩) ଦ୍ୱାରା ଦିଆଯାଇଥିବା k_c ମୂଲ୍ୟଠାରୁ କମ୍ ମୂଲ୍ୟରେ (01) ସମତଳମାନଙ୍କରୁ ବ୍ରାଗ୍ ପ୍ରତିଫଳନ ଘଟିଥାଏ, ଅର୍ଥାତ୍ $k_c = \pi/(a \sin \phi) = \pi/(a \cos\theta)$ ପାଇଁ ଏହା ଘଟିଥାଏ ।

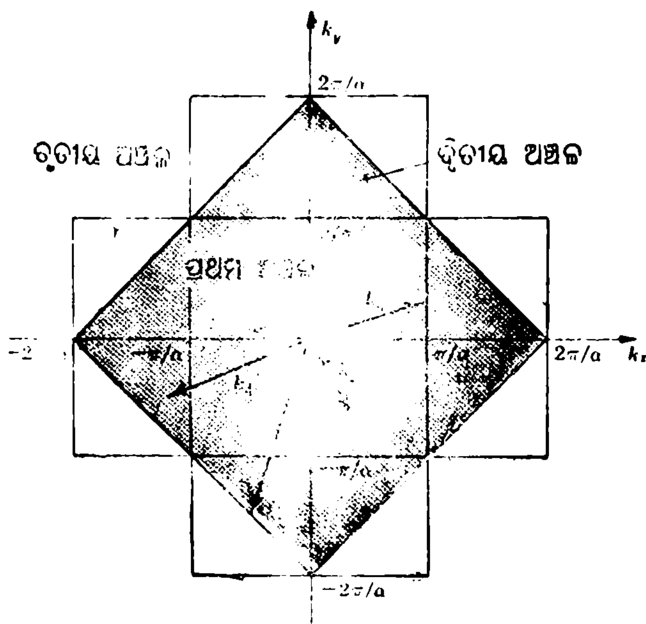
ଗୋଟିଏ ଦ୍ୱିବିମିତିକ k ସ୍ଥାନରେ ଆମ ଲାଟିସ୍‌ରେ ଥିବା ବହୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ପ୍ରତ୍ୟେକକୁ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ଶର ସାହାଯ୍ୟରେ, ଶରଗୁଡ଼ିକର ମୂଳକୁ ମୂଳବିନ୍ଦୁରେ ରଖି ପ୍ରକାଶ କରିବା (ଚିତ୍ର ୨୨·୬) । ଆଉ ମଧ୍ୟ $k_x = \pm\pi/a$, $k_y = \pm\pi/a$ ଦ୍ୱାରା ସୀମିତ ବର୍ଗ ଆମେ ଟାଣିବା ଓ ଏହାପରେ ଆମର ଦ୍ୱିବିମିତିକ ସ୍ଫଟିକ ପାଇଁ ବ୍ରିଲୋଇନ ଜୋନ୍ ସବୁରେ ପରିଚିତ ଅଞ୍ଚଳର ସୀମାରେଖା ଟାଣିବା । ଏହା ସ୍ପଷ୍ଟ ଯେ, ଉପଯୁକ୍ତ ଶରର ଅଗ୍ରଭାଗ ଜୋନର ସୀମାରେଖାରେ ଶେଷ ହେବା, [10] ଦିଗ ପାଇଁ ବ୍ରାଗ୍ ପ୍ରତିଫଳନର ସର୍ତ୍ତ । ସେହିପରି ଗୋଟିଏ $k_{[01]}$ ଭେକ୍ଟର (ଚିତ୍ର ୨୨·୬ରେ k_3) $\sqrt{10}\pi/3a$



[ଚିତ୍ର ୨୨·୫ (31) ସମତଳଗୁଡ଼ିକୁ ଲମ୍ବ ଭାବରେ ଏବଂ (31) ତଳରେ ଗୋଟିଏ ଭେକ୍ଟର ସହ ଗୋଟିଏ ଦ୍ୱିବିମିତିକ ବର୍ଗାକାର ଲାଟିସ]

ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ହେଲେ ସୀମାରେଖାରେ ପଡ଼ନ୍ତି । ସାଧାରଣ ଭାବରେ କହିଲେ, ପ୍ରଥମ ବ୍ରିଲୋଇନ୍ ଜୋନ୍‌ର ସୀମାରେଖାରେ ଶେଷ ହେଉଥିବା କୌଣସି k ଭେକ୍ଟର ବ୍ରାଗ୍ ପ୍ରତିଫଳନର ସର୍ତ୍ତ ପୂରଣ କରିଥାଏ ।

$\vec{k}_1$ ବା $\vec{k}_2$ ପରି ଗୋଟିଏ k ଭେକ୍ଟର ବିଶିଷ୍ଟ ଏକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ଏତେ ବଡ଼ ଯେ ଏହା ସମତଳମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ କୌଣସି ସେଟରୁ ପ୍ରତିଫଳିତ ହୋଇପାରେ ନାହିଁ । ଏହା ସ୍ଫଟିକ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରାୟ ମୁକ୍ତ ଭାବରେ ଗତି କରିପାରେ । $\vec{k}_4$ ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ (10) ସମତଳମାନଙ୍କୁ ପ୍ରତିଫଳନ ପାଇଁ ଅତି କମ୍ ଓ (11) ବା (01) ସମତଳମାନଙ୍କରୁ ପ୍ରତିଫଳନ ପାଇଁ ଏହାର ଦୈର୍ଘ୍ୟ ଅତ୍ୟନ୍ତ ବେଶୀ । ତେବେ, k_3 ଦ୍ୱିତୀୟ ବ୍ରିଲୋଇନ ଜୋନର ସୀମାରେଖାରେ ଶେଷ ହୁଏ, (14)



[ଚିତ୍ର ୧୨'୭ ଗୋଟିଏ ଦ୍ୱିବିମିତିକ ବର୍ଗାକାର ଲାଟିସ ପାଇଁ ପ୍ରଥମ, ଦ୍ୱିତୀୟ ଓ ତୃତୀୟ ବ୍ରିଲୋନ୍ ଜୋନ୍ । ଯେ କୌଣସି k ଭେକ୍ଟର ଜୋନ୍‌ର ସୀମାରେଖାରେ ଶେଷ ହେଲେ ଲାଟିସ ସମତଳମାନଙ୍କରୁ କୌଣସି ସେଟ୍‌ରୁ ପ୍ରତିଫଳନ ପାଇଁ ବ୍ରାଗ୍ ନିୟମର ସର୍ତ୍ତ ପୂରଣ କରେ]

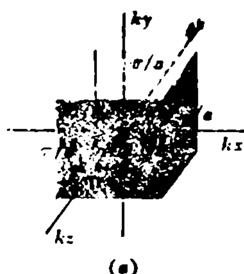
ସମତଳମାନଙ୍କ ପାଇଁ ବ୍ରାଗ୍ ସର୍ତ୍ତ ଏହା ପୂରଣ କରେ, ଏହି ସମତଳଗୁଡ଼ିକରେ ବର୍ଗାକାର ଲାଟିସ୍‌ରେ ପରସ୍ପର ମଧ୍ୟରେ ଅନ୍ତର ହେଲା

$$a/\sqrt{1^2+1^2}=a/\sqrt{2}$$

ଏହା k ସ୍ଥାନରେ $\sqrt{2}/a$ ଅନ୍ତରର ଅନୁରୂପ; କାରଣ ସେଠାରେ ଦୂରତା ସ୍ଥିତିରେ ଥିବା ଦୂରତାର ବ୍ୟୁତ୍କ୍ରମ । ଏହି କାରଣରୁ k ସ୍ଥାନକୁ ବେଳେ ବେଳେ ବ୍ୟୁତ୍କ୍ରମ ସ୍ଥାନ ବୋଲି କୁହାଯାଏ ।

ଦ୍ୱି-ବା ତ୍ରି-ବିମିତିକ ଲାଟିସ୍ ପରି, ଲାଟିସ୍ ସମତଳମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ କୌଣସି ସେଟ୍‌ରୁ ବ୍ରାଗ ପ୍ରତିଫଳନ ପାଇଁ ଆବଶ୍ୟକ ସର୍ତ୍ତ ପୂରଣ କରୁଥିବା ପ୍ରତ୍ୟେକ k ଭେକ୍ଟର୍

ପାଇଁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ଅନଷିଦ୍ଧ ଶକ୍ତିଗୁଡ଼ିକରେ ବିଚ୍ଛିନ୍ନତା ରହିଅଛି । ଚିତ୍ର ୧୧·୬ର ଯୁକ୍ତ ପାଦରେ ଏହାର ଅର୍ଥ (10), (01), (11), (21), (12), (31), (13) ପ୍ରଭୃତି ସମତଳମାନଙ୍କରୁ ଯେକୌଣସି କୋଟୀର ପ୍ରତିଫଳନ [(10) ସମତଳମାନରୁ ଦ୍ୱିତୀୟ ଓ



(a)



(b)



(c)

[ଚିତ୍ର ୧୧·୭ (କ) ସରଳ ସମଘନ (ଖ) ମୁଖକେନ୍ଦ୍ରିକ ସମଘନ ଓ (ଗ) ଗର୍ଭ-କେନ୍ଦ୍ରିକ ସମଘନ k ସ୍ଥାନରେ ପ୍ରଥମ ବ୍ରିଲୋନ ଜୋନ]

ତୃତୀୟ କୋଟୀର ପ୍ରତିଫଳନକୁ (20) ଓ (30) ସମତଳମାନଙ୍କରୁ ପ୍ରଥମ କୋଟୀର ପ୍ରତିଫଳନ ବୋଲି ସାଧାରଣତଃ କୁହାଯାଇଥାଏ; ଏପ୍ରକାରର ନାମକରଣରେ ଯେ କେହି ସର୍ବଦା ପ୍ରଥମ କୋଟୀର ପ୍ରତିଫଳନ ପାଇଥାଏ ।] ଆମେ ଯଦି ଏସମସ୍ତ ସମତଳ k ସ୍ଥାନରେ ଟାଣିବା, ସେଗୁଡ଼ିକ ବିଭିନ୍ନ ବ୍ରିଲୋନ୍ ଜୋନ୍‌ର ସୀମାରେଖାର ଅଂଶ ବିଶେଷ ରୂପେ କାର୍ଯ୍ୟ କରିବ । ଯଦି ଆମେ ମୂଳବିନ୍ଦୁରୁ ଆରମ୍ଭ କରି କୌଣସି ଦିଗରେ ଗୋଟିଏ କ୍ଷୁଦ୍ର k ଭେକ୍ଟର ଅନୁମାନ କରିବା ଓ ଯଦି ସମୟ ଅତିକ୍ରମ ହେବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଏହା କ୍ରମେ ବଢ଼ୁଥିବ, ଏହି ଭେକ୍ଟର ଗୋଟିଏ ସମତଳରେ ପହଞ୍ଚିବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ପ୍ରଥମ ବ୍ରିଲୋନ୍ ଜୋନରେ ଶେଷ ହେବ । ଯେତେବେଳେ ଏହା ସେ ସମତଳକୁ ଡେଇଁଯିବ, ସେତେବେଳେ ପରବର୍ତ୍ତୀ ସମତଳରେ ପହଞ୍ଚିବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଏହା ଦ୍ୱିତୀୟ ବ୍ରିଲୋନ ଜୋନରେ ରହିଥିବ ଏବଂ ଏହିପରି ଚାଲିଥିବ । ଚିତ୍ର ୧୧·୬ରେ ଗୋଟିଏ k ଭେକ୍ଟର [11] ଦିଗରେ ବୃଦ୍ଧି ଲାଭ କରି (10), (01) ଓ (11) ସମତଳଗୁଡ଼ିକୁ $k_x = \pi/a$, $k_y = \pi/a$ ବିନ୍ଦୁରେ ଭେଦ କରିବ । ସମତଳମାନଙ୍କରୁ ତିନୋଟି ସେଟ୍‌କୁ ଏହି ବିନ୍ଦୁରେ ଭେଦ କରି, ଏହା ଚତୁର୍ଥ ବ୍ରିଲୋନ ଜୋନରେ ପହଞ୍ଚିବ । ଚିତ୍ର ୧୧·୬ରେ ବର୍ଗାକାର

ଲାଟିସ୍ ପାଇଁ ପ୍ରଥମ ତିନି ବ୍ରିଲୋଇନ ଜୋନ୍ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି; ସବୁ ଜୋନର ଏକା କ୍ଷେତ୍ରଫଳ । ଆମେ ପ୍ରଧାନତଃ ପ୍ରଥମ ଦୁଇଟି ବ୍ରିଲୋଇନ ଜୋନ ନେଇ ବିଚାର କରିବା ।

ଏହି ଧାରଣାକୁ ତ୍ରିବିମିତିରେ ପ୍ରୟୋଗ କଲେ ଚିତ୍ର ୨୨·୭ a, b ଓ cରେ ଯଥାକ୍ରମେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଥିବା ସରଳ, ମୁଖକେନ୍ଦ୍ରିକ ଓ ଗଣ୍ଡକେନ୍ଦ୍ରିକ ସମଘନାକାର ଲାଟିସ୍ ପାଇଁ ପ୍ରଥମ ବ୍ରିଲୋଇନ ଜୋନ୍ ମିଳିଯିବ । ପ୍ରଥମ ବ୍ରିଲୋଇନ ଜୋନ ହେଉଛି, k ସ୍ଥାନର ଗୋଟିଏ ପରିସର ଯାହାକି ସମତଳମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଏପରି ସୀମିତ ହୋଇଛି ଯେ, କୌଣସି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର $\vec{k}$ ଭେକ୍ଟର ଏହି ଜୋନ ମଧ୍ୟରେ ଶେଷ ହେଲେ ଏହାର ତରଙ୍ଗ ଲାଟିସ୍ ସମତଳମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ କୌଣସି ସେଟ୍‌ରୁ ପ୍ରତିଫଳନ ହେବାପାଇଁ ଦୈର୍ଘ୍ୟରେ ବେଶୀ ହୋଇଯାଏ; କିନ୍ତୁ ଯାହାର $\vec{k}$ ଜୋନ୍‌ର ସୀମାରେଖାରେ ଶେଷ ହୁଏ, ତା'ର ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବ୍ରାଗ୍ ସର୍ତ୍ତ ପୂରଣ କରିଥାଏ । ବ୍ରିଲୋଇନ ଜୋନ ଦ୍ୱାରା ଗୋଟିଏ ପ୍ରଧାନ ସିଦ୍ଧାନ୍ତରେ ଉପନୀତ ହେଉଥାଉଁ ଯେ, $\vec{k}$ ଯେଉଁ ପରିମାଣ ପାଇଁ ବ୍ରାଗ୍ ସର୍ତ୍ତ ପୂରଣ ହୁଏ, ତାହା ସବୁ ଦିଗରେ ସମାନ ନୁହେଁ । ତେଣୁ ଯେଉଁ ଶକ୍ତିରେ ନିଷିଦ୍ଧ ଶକ୍ତି ବିଚ୍ଛିନ୍ନତାଗୁଡ଼ିକ ମିଳିଥାଏ ସ୍ଫଟିକ ମଧ୍ୟରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଯେଉଁ ଦିଗରେ ଗତି କରେ, ତା'ର ଫଳନ ହୋଇଥାଏ ।

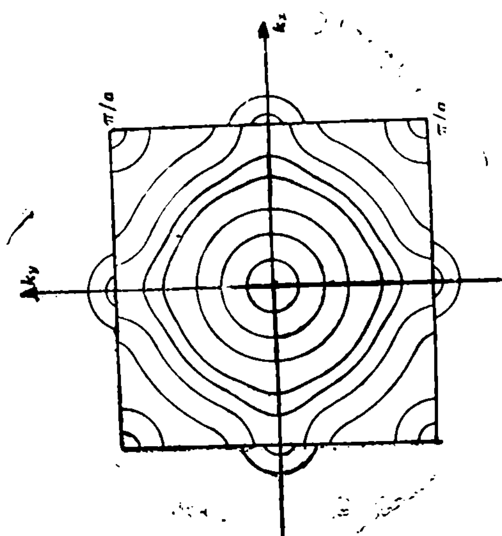
22·5 ଫର୍ମି ପୃଷ୍ଠତଳ :

k ଓ ଚଳିତ ଶକ୍ତି ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ସମ୍ବନ୍ଧ ଥିବାରୁ (ଚିତ୍ର ୨୨·୩ରେ ଓ ସେହି ସମୀକରଣମାନଙ୍କ ସାହାଯ୍ୟରେ ଏହି ପ୍ରଭାବ ହୁଏ ।) ଗୋଟିଏ ସ୍ଫଟିକରେ k ସ୍ଥାନରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଅନୁମତି ଶକ୍ତି ମୂଲ୍ୟସବୁ ଥାଇବା ସମ୍ଭବ । ଯେଉଁ k ଭେକ୍ଟର-ଗୁଡ଼ିକ ଏତେ ସାନ ଯେ ବ୍ରିଲୋଇନ ଜୋନ୍‌ର ସୀମାରେଖାପାଖକୁ ଆସେ ନାହିଁ, ଅନୁମତି ଶକ୍ତିଗୁଡ଼ିକ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଶକ୍ତିଗୁଡ଼ିକ ସଦୃଶ । k ସ୍ଥାନରେ ଏକା ଶକ୍ତିର ଅନୁରୂପ ବିନ୍ଦୁଗୁଡ଼ିକୁ ଯଦି ଆମେ ଯୋଗ କରିବା, ଆମେ ଗୋଟିଏ ସେଟ୍ ଶକ୍ତି କଣ୍ଟୁର (ଚିତ୍ର ୨୨·୮) ପାଇବା । (ଏହି ପରେ ଆମେ ଗୋଟିଏ ଦ୍ୱିବିମିତିକ ସମଘନାକାର ବ୍ୟୂହ ଆଲୋଚନା

କରିବା, ମାତ୍ର ଏଠାରେ ଧାରଣାଗୁଡ଼ିକ ସହଜରେ ତିନିମିତିକୁ ପ୍ରସାର କରି ହେବ) । ଗ୍ରେଟ k ମାନଙ୍କ ପାଇଁ, ଧ୍ରୁବଶକ୍ତି କଣ୍ଟୁରଗୁଡ଼ିକ ଦ୍ୱିବିମିତିରେ ବୃତ୍ତଗୁଡ଼ିଏ ହେବ (ତିନିମିତିରେ ଗୋଲକ) λ ତେବେ, k ଗୋଟିଏ ଜୋନର ସୀମାରେଖାର ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ ହେଲେ, ଅନୁରୂପ ଶକ୍ତି ଅଳ୍ପେ ଅଳ୍ପେ ବଢ଼େ (ଚିତ୍ର ୨୨·୩); ଫଳରେ ଶକ୍ତି କଣ୍ଟୁର ସୀମାରେଖା ଆଡ଼କୁ ଫୁଲି ଉଠେ । ଅରେ [10] ଓ [01] ଦିଗରେ k ଭେକ୍ଟରଗୁଡ଼ିକ ଜୋନର ସୀମାରେଖାରେ ପହଞ୍ଚିଲେ, ଅନୁରୂପ ଶକ୍ତି କଣ୍ଟୁରଗୁଡ଼ିକ ଜୋନ୍ ସୀମାରେଖାଗୁଡ଼ିକରେ ଶେଷ ହୁଏ । ଏହାକୁ ସେଗୁଡ଼ିକ ଲମ୍ବଭାବରେ ଛୁଇଁଥାଏ । ୨୨·୮ ଚିତ୍ରରେ kର ସର୍ବାଧିକ ମୂଲ୍ୟ ଓ ପ୍ରଥମ ଜୋନର ଅନୁମତି ସର୍ବାଧିକ ଶକ୍ତି [11] ଦିଗ ଓ ଲାଟିସର କୋଣଗୁଡ଼ିକ ସହିତ ସମ୍ପୃକ୍ତ ।

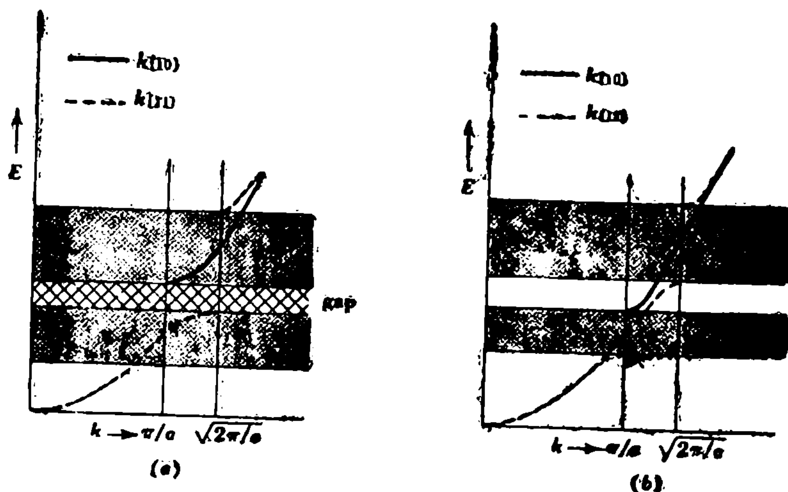
$0°k$ରେ ଗୋଟିଏ ସ୍ଫଟିକରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ, ସମସ୍ତେ ନିମ୍ନତମ ସାମ୍ଭବ୍ୟ ଶକ୍ତିଗୁଡ଼ିକରେ ରହିଥାଏ; ସେମାନେ ଫର୍ମିଶକ୍ତି E_F (0) ସହିତ ସମାନ ବା ତା'ଠାରୁ କମ୍ ସମସ୍ତ ସ୍ତର ପୂର୍ଣ୍ଣ କରିଥାନ୍ତି; କିନ୍ତୁ $E<E_F$ (0)ର ସମସ୍ତ ସ୍ତର ଶୂନ୍ୟ ଥାଏ । ଚିତ୍ର ୨୨.୮ର ବ୍ରିଲୁଇନ ଜୋନ ଅନୁସାରେ E_Fର ଅନୁରୂପ ସମଶକ୍ତି କଣ୍ଟୁର ମଧ୍ୟରେ ରହିଥିବା ସମସ୍ତ k ଅବସ୍ଥା ଅଧିକୃତ ଥିବାର ଏହା ଅନୁରୂପ k ସ୍ଥାନରେ ଏହି ଶେଷ କଣ୍ଟୁରକୁ ଫର୍ମି ପୃଷ୍ଠତଳ କୁହାଯାଏ । କୌଣସିଠାରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ବ୍ରିଲୁଇନ ଜୋନର ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକର ଅଧାରୁ କମ ଅଧିକାର କରିଥିଲେ, ତାହା ଚିତ୍ର ୨୨·୮ରେ ସେଡ୍ କରି ଅଞ୍ଚଳର ସୀମାଦ୍ୱାରା ଚିତ୍ରିତ ହୋଇଅଛି । ଗ୍ରେଟ k ମାନଙ୍କ ପାଇଁ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ମୋଟାମୋଟି ହିସାବ ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ । ଏଠାରେ ଫର୍ମି ପୃଷ୍ଠତଳ ଗୋଲକାକାର । କୌଣସି k ଭେକ୍ଟର ବ୍ରିଲୁଇନ ଜୋନରୁ ସୀମାର ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ ହେଲେ, ଫର୍ମି ପୃଷ୍ଠତଳର ଆକାର ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇଯାଏ ।

ଚିତ୍ର ୨୨·୯ ରେ ଦ୍ୱିତୀୟ ବ୍ରିଲୁଇନ ଜୋନର ମଧ୍ୟ କେତେକ ଶକ୍ତି କଣ୍ଟୁର ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଜୋନ ସୀମାରେ ଶକ୍ତି ବିଚ୍ଛିନ୍ନତା ଫଳରେ ପ୍ରଥମ ଜୋନର କଣ୍ଟୁରଗୁଡ଼ିକ ସହିତ ଏ କଣ୍ଟୁରଗୁଡ଼ିକ ମିଶିଯାଉନାହିଁ । କେତେକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଦ୍ୱିତୀୟ ଜୋନରେ ନିମ୍ନତମ ଅନୁମତି ଶକ୍ତିଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରଥମ ଜୋନର ସର୍ବାଧିକ ଶକ୍ତିଗୁଡ଼ିକର ତଳେ ରହିଯାଏ; ଅନ୍ୟଗୁଡ଼ିକରେ ଦ୍ୱିତୀୟ ଜୋନର କୌଣସି ଅବସ୍ଥା ଅଧିକୃତ ହେବା ପୂର୍ବରୁ



[ଚିତ୍ର ୧୧.୮ k ସ୍ଥାନରେ ସମାନ ଶକ୍ତି ପୃଷ୍ଠତଳଗୁଡ଼ିକ । 0°kରେ ସମସ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ନିମ୍ନତମ ସାମ୍ଭବ୍ୟ ଶକ୍ତି ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକରେ ଥାନ୍ତି; ଫର୍ମିଶକ୍ତି E_Fଠାରୁ କମ୍ ସମସ୍ତ କକ୍ଷସ୍ତର ପୂର୍ଣ୍ଣ ହୋଇଥାଏ । E_F ସହିତ ସମ୍ପୃକ୍ତ ଶକ୍ତି ପୃଷ୍ଠତଳକୁ ଫର୍ମି ପୃଷ୍ଠତଳ କୁହାଯାଏ]

ପ୍ରଥମ ଜୋନର ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ହୋଇଥାଏ । ଯେତେବେଳେ ଦ୍ୱିତୀୟ ଜୋନର ସର୍ବନିମ୍ନ ସ୍ତର ପ୍ରଥମ ଜୋନର ସର୍ବାଧିକ ସ୍ତରର ତଳେ ରହେ, ଜୋନ ଦୁଇଟି ତଳଉପର ହୋଇଗଲେ ବୋଲି କୁହାଯାଏ । ଚିତ୍ର ୧୧.୯ରେ E ଓ kର ଗ୍ରାଫ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇ ଅଛି, ଏଥିରେ ତଳ ଉପର ହେବାର ଦେଖାଯାଉଛି ଓ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଜୋନ ବିନ୍ୟାସ ମଧ୍ୟ ଦେଖାଯାଉଛି । ବ୍ରିଲୋନ ଜୋନରେ ଏହା କ'ଣ ବୁଝାଉଛି ବୁଝିବାପାଇଁ, ବ୍ରିଲୋନ ଜୋନରେ ଏହା କ'ଣ ବୁଝାଉଛି ବୁଝିବାପାଇଁ, ମନେକର 0°kରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ ସ୍ଫଟିକରୁ ସବୁ ପରିବାହୀ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ କାଢ଼ି ନିଆଗଲା, ତେଣୁ ପ୍ରଥମ ବ୍ରିଲୋନ ଜୋନ ଶୂନ୍ୟ ହୋଇଗଲା । ବର୍ତ୍ତମାନ ଗୋଟିଏ ଦଳ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଯୋଗ କଲେ ଚିତ୍ର ୧୧.୧୦ କ ରେ ଦିଆଯାଇଥିବା ଫର୍ମି ପୃଷ୍ଠତଳ ପରି ପୃଷ୍ଠତଳ ମିଳିବ । ଯଦି ଆମେ ଅଧିକ ଯୋଗ କରିବା, ଫର୍ମି ପୃଷ୍ଠତଳ ଚିତ୍ର ୧୧.୧୦ଖର ପୃଷ୍ଠତଳ ପରି ହେବ । ଯେତେବେଳେ ପ୍ରଥମ ବ୍ରିଲୋନ୍



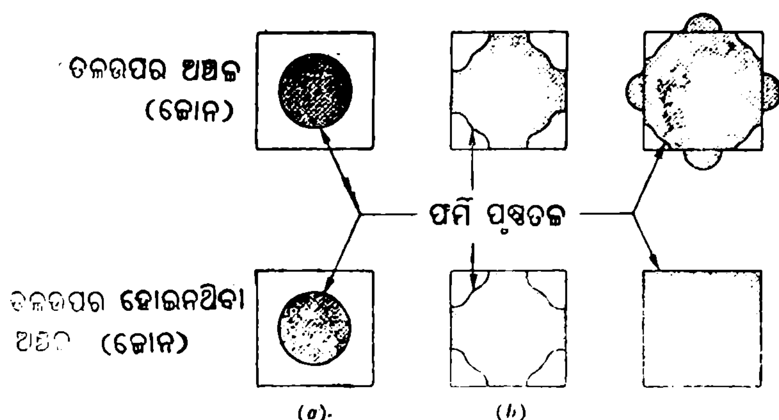
[ଚିତ୍ର ୨୨·୯ ଗୋଟିଏ ଦ୍ୱିବିମିତିକ ବର୍ଗାକାର ଲାଟିସ୍ ପାଇଁ (କ) ତଳଉପର ନହୋଇଥିବା ଓ (ଖ) ତଳଉପର ହୋଇଥିବା ବ୍ରିଲୋଇନ ଜୋନଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ E ଓ k ଗ୍ରାଫ୍ । E ଓ K ଗ୍ରାଫ୍ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ଦିଗରେ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ହୁଏ, $k_{[10]}$ ଓ $k_{[11]}$ ଗ୍ରାଫ୍ ମଧ୍ୟରେ ସର୍ବାଧିକ ତାରତମ୍ୟ ହୁଏ । (କ)ରେ ଶକ୍ତି ଶକ୍ତି ପରସ୍ପର ପ୍ରତି k ଦିଗ ପାଇଁ ଲିଭିଛି, କିନ୍ତୁ (ଖ)ରେ ଅନ୍ତତଃ କେତେକ k ଦିଗ ପାଇଁ ପ୍ରତି ଶକ୍ତି ଅଲିଭିଛି ଅଛି]

ଜୋନ୍ ପୂର୍ଣ୍ଣ ହେଲାପରେ ଆମେ ଯଥେଷ୍ଟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପ୍ରବେଶ କରାଇବା ପରିଣାମୀ ଫର୍ମି ପୃଷ୍ଠତଳ ଏହି ଜୋନଗୁଡ଼ିକ ତଳ ଉପର ହୋଇଅଛନ୍ତି କି ନା ତା ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିବ । (ଚିତ୍ର ୨୨·୧୦ଖ) । ଯଦି ସେମାନେ ତଳ ଉପର ହୋଇ ରହିବେ, କେତେକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଦ୍ୱିତୀୟ ଜୋନର ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ଅଧିକାର କରିବେ, କାରଣ ସେଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରଥମ ଜୋନର ସର୍ବାଧିକ ମୂଲ୍ୟର ତଳକୁ ରହିଥାଏ ।

22.6 ସ୍ତରମାନଙ୍କ ସାନ୍ଦ୍ରତା :

ଆମେ ଫଣ୍ଡ୍-ପେନଙ୍କର ବର୍ଗାକାର କୂପମାନଙ୍କର ନିୟମିତ ବ୍ୟୂହ ସାହାଯ୍ୟରେ ବ୍ରିଲୋଇନ ଜୋନ କଥା ଆଲୋଚନା କରିଥାଉଁ । ଗୋଟିଏ ବର୍ଗାକାର କୂପର

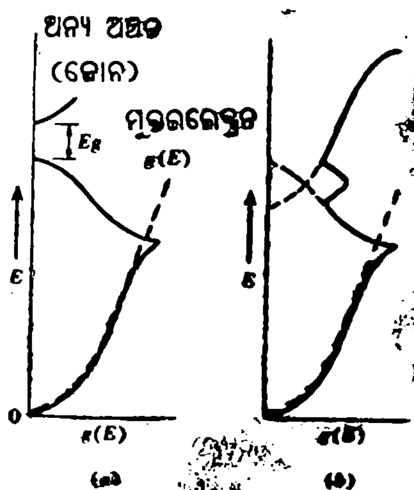
ପ୍ରତି ଅନୁମତିକ ଅବସ୍ଥାରେ ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପରସ୍ପରର ବିପରୀତ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଥାଇ ରହି ପାରିବେ । ଆମେ ବର୍ଗାକାର କୂପଗୁଡ଼ିକୁ ଏକତ୍ରିତ କରିଦେଲେ, ପ୍ରତି ଶକ୍ତି ସ୍ତର ଗୋଟିଏ



[୨୨° ° ଯେତେବେଳେ ପ୍ରଥମ ବ୍ରିଲୋଇନ ଜୋନ ପୂର୍ଣ୍ଣ କଲାଭଳି ଠିକ୍ ଅବଶ୍ୟକ ପରିମାଣର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଥାଏ, ଜଳ ଉପର ହୋଇ ଜୋନ ଥିଲେ କେତେକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଉପବୃତ୍ତ ହୋଇଯାଏ ଓ ଜଳ ଉପର ହୋଇଥିବା ଜୋନକୁ ଚାଲିଯାଏ । ଏଠାରେ ଶକ୍ତିଶକ୍ତିର କେତେକ ସ୍ତର ମିଳିଥାଏ]

ଗୋଟିଏ ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ ପ୍ରସାରିତ; ପ୍ରତି ବ୍ୟାଣ୍ଡ ସହିତ ଆମେ ଗୋଟିଏ ଲେଖାଏଁ ବ୍ରିଲୋଇନ ଜୋନ ସଂପୃକ୍ତ କରିବା । ତେଣୁ ପ୍ରତି ଜୋନ ପାଇଁ, ପ୍ରତି ବର୍ଗକୂପରେ ସର୍ବାଧିକ ଦୁଇଟି ଇଲେକଟ୍ରନ ପାଇ ପାରିବା; ଯେତେବେଳେ ଏହି ତତ୍ତ୍ୱକୁ ଆମେ ପରମାଣୁକୁ ପ୍ରସାରି ଦେବା, ଆମେ ପ୍ରତି ପରମାଣୁ ସହିତ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ କୂପ ସଂପୃକ୍ତ କରିବା ଓ ଦେଖିବା ଯେ, ପ୍ରତି ପରମାଣୁରେ ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପ୍ରତି ବ୍ରିଲୋଇନ ଜୋନ ପୂର୍ଣ୍ଣ କରିବେ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, $1 cm^3$ ଘନଫଳବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ସୋଡ଼ିୟମ ଖଣ୍ଡିକରେ $2{\cdot}4 \times 10^{22}$ଟି ପରମାଣୁ ଥାଏ, ଯେଉଁମାନେ ଇଲେକଟ୍ରନମାନଙ୍କର ପ୍ରଥମ ବ୍ରିଲୋଇନ ଜୋନ ପାଇଁ ଏ ପ୍ରତ୍ୟେକ ପରମାଣୁ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଦେଇଥାନ୍ତି । ଯେହେତୁ ଜୋନ୍‌ଟିରେ ପ୍ରତି ପରମାଣୁ ପାଇଁ ଦୁଇଟି ଇଲେକଟ୍ରନର ସ୍ଥାନ ଅଛି, ଏହା ଅଧା ପୂର୍ଣ୍ଣ ହୋଇଥିବ ।

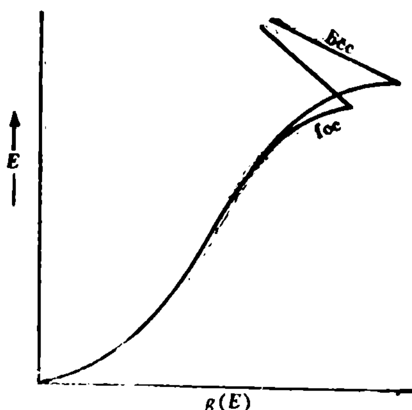
ଚିତ୍ର ୧୧.୮ରେ ଯେଉଁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକର k ଏତେ ସାନ ଯେ ଜୋନର ସୀମାଠାରୁ ବହୁତ ଦୂରରେ ରହିବ, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରାୟ ମୁକ୍ତ ଥିବା ପରି ଗୁଣ ଦେଖାଇବେ ଏବଂ ସମୀକରଣ (୧୧.୧୧) ସ୍ତରମାନଙ୍କର ସାନ୍ଦ୍ରତା ଫଳନର ଉତ୍ତମ ଆସନ୍ନ ମୂଲ୍ୟ ଦେବ । k ଟି π/a ର ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ ହେଲେ, Eରେ ସାମାନ୍ୟ ଆଧିକ୍ୟ k ଅବସ୍ଥା-ମାନଙ୍କରେ ସଂଖ୍ୟାରେ ବହୁତ ବୃଦ୍ଧି ଦେଖାଇବ (ଦେଖ ଚିତ୍ର ୧୧.୩) ଏବଂ ସ୍ତରମାନଙ୍କର ସାନ୍ଦ୍ରତା ଫଳନ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ରେଖା (ଚିତ୍ର ୧୧.୧୨କ) ତୁଳନାରେ ଅଧିକ କ୍ଷିପ୍ର ଭାବରେ ବଢ଼ିବ, ଏଥିରେ ଗୋଟିଏ ସୂଚ୍ୟାଗ୍ର ବାହାରି ପଡ଼ୁଥାଏ । ଥରେ ଜୋନର ସୀମାରେ ପହଞ୍ଚିଗଲେ, ବ୍ରିଲୁଇନ ଜୋନର କେବଳ କୋଣ ଆଡ଼କୁ ଅବଶିଷ୍ଟ ସ୍ତର ରହିଯାଇଥାଏ ସୂଚ୍ୟାଗ୍ରର ଉପରେ ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକର ସାନ୍ଦ୍ରତା କମିଯାଏ, ଜୋନଟି ପୂର୍ଣ୍ଣ ହୋଇଗଲେ ଏହା ଶୂନ୍ୟ ହୋଇଯାଏ । ଯେତେବେଳେ ଚିତ୍ର ୧୧.୯ରେ ହେବାପରି ଦୁଇଟି ବ୍ରିଲୁଇନ ଜୋନ ତଳ ଉପର ହୋଇ ରହେ, ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକର ସାନ୍ଦ୍ରତା ଗ୍ରାଫ୍ ମଧ୍ୟ ତଳ ଉପର ହୋଇ ରହେ (ଚିତ୍ର ୧୧.୧୨ଖ) ।



[ଚିତ୍ର ୧୧.୧୨ (କ) ତଳ ଉପର ହୋଇ ନଥିବା ବ୍ୟାଣ୍ଡଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ (ଖ) ତଳ ଉପର ହୋଇଥିବା ବ୍ୟାଣ୍ଡମାନଙ୍କ ପାଇଁ ସ୍ତରମାନଙ୍କର ସାନ୍ଦ୍ରତା $g(E)$ (x – ଅକ୍ଷରେ) ଓ E (y – ଅକ୍ଷରେ)ର ଫଳନ ଭାବରେ]

ଏପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଆମେ ପ୍ରଧାନତଃ ଗୋଟିଏ ସରଳ ସମଘନାକାର ସ୍ଫଟିକ ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ ବ୍ରିଲୋଇନ ଜୋନ କଥା ଆଲୋଚନା କରିଥାଉଁ । ଅନ୍ୟ ଲାଟିସ୍‌ମାନଙ୍କ ପାଇଁ k ସ୍ଥାନରେ ବ୍ରିଲୋଇନ୍ ଜୋନମାନଙ୍କର ଆକାର ବହୁ ପରିମାଣରେ ଭିନ୍ନ, ତେବେ ଅଧିକାଂଶ ମୂଳଗୁଣ ସମାନ ରହିଥାଏ । ଚିତ୍ର ୨୨·୧୨ରେ ସ୍ତରମାନଙ୍କର ସାନ୍ଦ୍ରତା ଫଳନ ଗଣ୍ଡିକେନ୍ଦ୍ରିକ ଘନ ପାଇଁ ଦେଖାଇ ହୋଇଅଛି । ଏଥିରେ ଲକ୍ଷ୍ୟଯୋଗ୍ୟ ଯେ, ସୂକ୍ଷ୍ମାଗ୍ରଗୁଡ଼ିକ ବହୁ ପରିମାଣରେ ଭିନ୍ନ ଶକ୍ତିରେ ଦେଖାଦେବ ।

ଚିତ୍ର ୨୨·୧୨ ରେ ଦିଆଯାଇଥିବା ସ୍ତରର ସାନ୍ଦ୍ରତା ଗ୍ରାଫ୍ ସଙ୍କରଗୁଡ଼ିକୁ ବୁଝିବାରେ ବହୁ ସ୍ତରରେ ସାହାଯ୍ୟ କରିଥାଏ । ତମ୍ବା ଜିଙ୍କ ସଙ୍କର (ବ୍ରାସ ବା କଂସା) ଏହାର ଗୋଟିଏ



[ଚିତ୍ର ୨୨·୧୨ ମୁଖ କେନ୍ଦ୍ରିକ ବା ଗଣ୍ଡିକେନ୍ଦ୍ରିକ ସମଘନାକାର ସ୍ଫଟିକ ପାଇଁ ସ୍ତରମାନଙ୍କର ସାନ୍ଦ୍ରତା ଫଳନ $g(E)$

ଭଲ ଉଦାହରଣ । ତମ୍ବା ମୁଖକେନ୍ଦ୍ରିକ ସମଘନ ଆକାରରେ ପ୍ରତି ପରମାଣୁରୁ ଗୋଟିଏ ଲେଖାଏଁ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଦେଇ ସ୍ଫଟିକାକାର ଗ୍ରହଣ କରିଥାଏ । ଯେତେବେଳେ ଅଳ୍ପ ପରିମାଣରେ ଜିଙ୍କ ଯୋଗ କରାଯାଏ, ମୁଖକେନ୍ଦ୍ରିକ ସମଘନ ଗଠନରେ ଜିଙ୍କ ପରମାଣୁ ସବୁ ତମ୍ବା ସ୍ଥାନରେ ରହେ । କିନ୍ତୁ ପ୍ରତି ଜିଙ୍କ ପରମାଣୁ ବ୍ରିଲୋଇନ ଜୋନକୁ ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଦେଇଥାଏ ଓ ଏହାଫଳେ ଫର୍ମି ସ୍ତରକୁ ଉପରକୁ ଉଠାଇ ଦେଇଥାଏ । ହିଉ ଅନୁମାନ କରାଯାଏ ଯେ, ମୁଖକେନ୍ଦ୍ରିକ ସମଘନ ଗଠନର ସୂକ୍ଷ୍ମାଗ୍ର ଫର୍ମି ପୃଷ୍ଠତଳ ପ୍ରଥମେ

ବ୍ରିଲୋଇନ ସୀମାକୁ ଛୁଇଁଲେ ମିଳିଥାଏ (ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ମଡେଲ ଅନୁସାରେ), ସୂକ୍ଷ୍ମାଗ୍ରଟି ପ୍ରତି ପରମାଣୁରୁ 1·36 ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଅନୁରୂପ ହେବାର ଦେଖାଯିବ । ଏଥିରୁ ଏହା ଅନୁମିତ ହୁଏ ଯେ, ସଙ୍କର ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ଶତକଡ଼ା 36ରୁ ଅଧିକ ଯେତେବେଳେ Zn, ଅଧିକା Zn ଯୋଗ କଲେ ଫର୍ମି ଶକ୍ତି କ୍ଷିପ୍ର ଗତିରେ ବଢ଼ିଯିବ । ସେହିପରି ଗର୍ଭକେନ୍ଦ୍ରିକ ଗଠନ ପାଇଁ ହିସାବ କଲେ ଦେଖାଯିବ ଯେ, ପ୍ରତି ପରମାଣୁ ପାଇଁ 1·48 ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ ସୂକ୍ଷ୍ମାଗ୍ର ମିଳିବ । 1·36ରୁ 1·48 ପରିସର ମଧ୍ୟରେ ମୁଖକେନ୍ଦ୍ରିକ ସମଘନ ପାଇଁ ସ୍ତରମାନଙ୍କର ସାନ୍ଦ୍ରତା କମି କମିଯିବ; କିନ୍ତୁ ଗର୍ଭକେନ୍ଦ୍ରିକ ସମଘନ ପାଇଁ ଏହା ବଢ଼ି ବଢ଼ିଯିବ । ତେଣୁ, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ଶକ୍ତିକୁ ବିଚାର କଲେ, ଗର୍ଭକେନ୍ଦ୍ରିକ ସମଘନାକାର ଅଧିକରୁ ଅଧିକ ସ୍ଥାୟୀ ହେବ । ପରୀକ୍ଷାରୁ ଦେଖାଯାଉଅଛି ଯେ, ବ୍ରାସ ମୁଖକେନ୍ଦ୍ରିକ ସମଘନାକାର α ଅବସ୍ଥାରୁ ଗର୍ଭକେନ୍ଦ୍ରିକ ସମଘନାକାର β ଅବସ୍ଥାକୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସାନ୍ଦ୍ରତା 1·38ଠାରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇଥାଏ । ଏହାଠାରୁ ଅଧିକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସାନ୍ଦ୍ରତାରେ କପର-ଜିଙ୍କ ସଙ୍କର ଏହାଛଡ଼ା ଅନ୍ୟ ଅବସ୍ଥାରେ ମିଳିଥାଏ ।

22·7 ପୂର୍ଣ୍ଣ ହେବା ବ୍ୟାଣ୍ଡ ଓ ଗର୍ତ୍ତ :

ଯଦି ଗୋଟିଏ ସ୍ଫଟିକରେ ଗୋଟିଏ ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ର ଆରୋପ କରାଯାଏ, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଶୂନ୍ୟ ଥିବା ଉଚ୍ଚତର ଶକ୍ତି ସ୍ତରସବୁ ଥିଲେ ସେଗୁଡ଼ିକ ପରିଣାମୀ ତାଡ଼ନ ଗତିବେଗ ଲାଭ କରି ସ୍ରୋତ ସୃଷ୍ଟି କରିବାକୁ ସମର୍ଥ ହେବେ । ଉପର ପରି ଉଲ୍ଲିଖିତ ପରିବହନଶୀଳ ଧାତୁ ପାଇଁ, ପ୍ରତି ପରମାଣୁରୁ ଗୋଟିଏ ସଂଯୋଜକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଥିବାରୁ ପ୍ରଥମ ବ୍ରିଲୋଇନ ଜୋନ୍‌ଟି ଅର୍ଦ୍ଧେକ ପୂର୍ଣ୍ଣ ହୋଇଥାଏ ଓ ଫର୍ମି ପୃଷ୍ଠତଳର ଠିକ୍ ଉପରକୁ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ ଭାବରେ ଶକ୍ତିସ୍ତର ସବୁ ହୋଇଥାଏ । ଏହା ମଧ୍ୟକୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ରଦ୍ୱାରା ଉତ୍ତେଜିତ ହୋଇ ଚାଲି ଆସିପାରେ ।

ଅନ୍ୟ ପକ୍ଷରେ, ଯେତେବେଳେ ତଳ ଉପର ହୋଇ ରହି ନଥିବା ଗୋଟିଏ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ପୂର୍ଣ୍ଣ ହୁଏ, ଫର୍ମି ପୃଷ୍ଠତଳର ଠିକ ଉପରକୁ କୌଣସି ଅନୁମତିକ ଶକ୍ତିସ୍ତର ମିଳେ ନାହିଁ; ତେଣୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଆରୋପିତ କ୍ଷେତ୍ରରୁ କୌଣସି ଶକ୍ତି ଲାଭ କରି ପାରନ୍ତି ନାହିଁ । ଫଳରେ କୌଣସି ତାଡ଼ନ ଗତିବେଗ ନଥାଏ ବା କୌଣସି ସ୍ରୋତ ସୃଷ୍ଟି ହୁଏ

ନାହିଁ । ଯଦି ବ୍ୟାଣ୍ଡଟି ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣଭାବେ ପୂର୍ଣ୍ଣ ହୋଇ ନଥାଏ, କେତେକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଶକ୍ତି ଲାଭ କରିବାକୁ ସମର୍ଥ ହୁଅନ୍ତି ଏବଂ ଅଳ୍ପ ସ୍ରୋତ ସୃଷ୍ଟି କରି ପାରନ୍ତି । ଅନ୍ୟଭାବରେ ପୂର୍ଣ୍ଣ ଥିବା ଗୋଟିଏ ବ୍ୟାଣ୍ଡକୁ ପ୍ରତି ଏକକ ଘନତ୍ୱ ଗୋଟିଏ ଲେଖାଏଁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଖାଲି ଥିବା ଆମେ ବିଚାର କରିବା । ଏହି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଖାଲି ଥିବା ଆମେ ବିଚାର କରିବା । ଏହି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନକୁ ଆମେ i ଦ୍ୱାରା ଚିହ୍ନାଇବା । ଯେତେବେଳେ ଏହି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଉପସ୍ଥିତ ଥିବ, ସେତେବେଳେ କୌଣସି ସ୍ରୋତ ନଥିବ; ତେଣୁ

$$j = -e\sum_{j=1}^{n} v_j = -e\sum_{j\neq i}^{n} v_j - ev_i = 0 \qquad (୨୨.୯୪)$$

$$\text{ବା} \quad -e\sum_{j\neq i}^{n} v_j = \pm ev_i \qquad (୨୨.୯୪କ)$$

ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ iର ଅନୁପସ୍ଥିତିରେ, ବାମପକ୍ଷରେ ଯୋଗଫଳଟି ଅନ୍ୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ଫଳରେ ମିଳିଥିବା ସ୍ରୋତ ସାନ୍ଦ୍ରତା ଦେଉଅଛି । ଏହା ଡାହାଣ ପକ୍ଷ ସହିତ ସମାନ, ଏହା ଗୋଟିଏ ଯୁକ୍ତ ଚାର୍ଜର ଗତି ଫଳରେ ମିଳୁଥିବା ସ୍ରୋତ ସାନ୍ଦ୍ରତାରୂପେ ବୁଝାଯାଇ ପାରେ, ଏହା ଗୋଟିଏ ଗର୍ତ୍ତ । ଗୋଟିଏ ପ୍ରାୟ ପୂର୍ଣ୍ଣ ଥିବା ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ ଗୋଟିଏ ଶୂନ୍ୟ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥା ଗୋଟିଏ ଯୁକ୍ତ ଚାର୍ଜ କଣିକା ପରି କାର୍ଯ୍ୟ କରିଥାଏ, ଏହା ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଅନୁରୂପ । ସ୍ରୋତ ଏହି ଗର୍ତ୍ତମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ପରିବାହିତ ହୋଇଥାଏ ବୋଲି ଅନୁମାନ କରିବା ଅତ୍ୟନ୍ତ ସରଳ, ଗୁଡ଼ିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଙ୍କର ଗତି ଉପରେ ଆଖି ରଖି ଏହାକୁ ବୁଝିବା କଷ୍ଟକର ।

ଅନେକ ଧାତୁ ପାଇଁ ମିଳୁଥିବା ଯୁକ୍ତ ହଲ୍ ଅଙ୍କ ଏହି ଗର୍ତ୍ତ ଧାରଣା ସାହାଯ୍ୟରେ ସହଜରେ ବୁଝିହେବ । ବ୍ୟାଣ୍ଡ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ପ୍ରଥମରୁ ଆଶା କରାଯାଇପାରିବ ଯେ, ଯେଉଁ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କର ବାହ୍ୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବିନ୍ୟାସ s^2 (ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, Be, Mg, Ca, Zn) ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଦୃଷ୍ଟିରୁ ଅପରିବାହୀ ହୋଇପାରନ୍ତି; କାରଣ s^2 ପାରମାଣବିକ ସ୍ତର ଓ ଅନୁରୂପ ବ୍ୟାଣ୍ଡପୂର୍ଣ୍ଣ କରିବାପାଇଁ ତାଙ୍କର ଠିକ୍ ଯଥେଷ୍ଟ ପରମାଣୁର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଥାଏ । ତେବେ, ଏ ସମସ୍ତ ପଦାର୍ଥରେ p ବ୍ୟାଣ୍ଡ ଓ s ବ୍ୟାଣ୍ଡ ଚଳ ଉପର ହୋଇ ବହୁ ପରିମାଣରେ ରହିଥାଏ, ତେଣୁ ଏଥିରେ p ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଓ ତାସଙ୍ଗେ s ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ ସମାନ ସଂଖ୍ୟକ ଗର୍ତ୍ତ ଥାଏ । ସମାନ ସଂଖ୍ୟକ ଯୁକ୍ତ ଓ ବିଯୁକ୍ତ ପରିବାହୀ ଥିଲେ

ଯୁକ୍ତ ହଲ୍ ଅଙ୍କ ମିଳିବ । ଏହି କଥା ବୁଝିବାପାଇଁ ପ୍ରତି ଘନ ଏକକରେ n ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଓ P ହର୍ଲ ଥିଲେ ହଲ୍ ଅଙ୍କ କେତେ ହେବ ହିସାବ କରିବା । ଏକ୍ଷେତ୍ରରେ ସ୍ରୋତ ସାନ୍ଦ୍ରତା J_x ପାଇଁ ଆମେ ପାଇବା (ଚିତ୍ର ୨୨·୮)

$$J_x = -ne\,(v_n)_x + Pe\,(v_p)_x$$
$$= (ne\mu_n + pe\mu_p)E_x \qquad (୨୨·୮୫)$$

ଏଠାରେ p ଓ n ପରବଳୟ ସବୁ ଯଥାକ୍ରମେ ଗର୍ତ୍ତ ଓ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନକୁ ସୂଚାଉଅଛି । ଯଦି E_y , B_z ଲଗି ହେଉଥିବା ହଲ୍ କ୍ଷେତ୍ରର ଅନୁପ୍ରସ୍ଥ ସଂଯୋଜକ ବୁଝାଏ, ଗର୍ତ୍ତଗୁଡ଼ିକ ସଙ୍ଗେ ମୋଟ Y ସ୍ରୋତ ସାନ୍ଦ୍ରତା $(J_p)_y = pe\mu_p\,(E_y - v_p)_x\,B_z]$ ବହୁସାଏ: କରୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପାଇଁ $(J_n)_y = ne\mu_n\,[E_y - (v_n)_x\,B_z]$ ।

ତେବେ, ସାମ୍ୟାବସ୍ଥା

$$J_y = (J_p)_y + (J_n)_y$$

ନିଶ୍ଚୟ ଶୂନ୍ୟ ହେବ ଏବଂ ସେଥିପାଇଁ

$$Pe\mu_p\,[E_y - (v_p)_x\,B_z] + ne\mu_n\,[E_y - (v_n)_x\,B_z] = 0 \qquad (୨୨·୮୬)$$

ଏଥିରୁ

$$E_y = \frac{P\mu_p(v_p)_x + n\mu_n(v_n)_x]\,B_z}{P\mu_p + n\mu_n}$$
$$= \frac{(P\mu_p^2 - n\mu_n^2)\,E_x\,B_z}{P\mu_p + n\mu_n} \qquad (୨୨·୮୬କ)$$

ସଂଜ୍ଞା ଅନୁସାରେ, $R_H = E_y/J_x\,B_z$;

ସମୀକରଣ (୨୨·୮୬କ) ଓ (୨୨·୮୫)ର ବ୍ୟବହାର ଦ୍ୱାରା ମିଳିବ

$$R_H = \frac{1}{e}\cdot\frac{P\mu_p^2 - n\mu_n^2}{e(P\mu_p + n\mu_o)^2} \qquad (୨୨·୮୭)$$

s^2 ପାରମାଣବିକ ବିନ୍ୟାସ ଥିବା ଧାତୁମାନଙ୍କ କ୍ଷେତ୍ରରେ s ବ୍ୟାଣ୍ଡ-ଗର୍ତ୍ତମାନଙ୍କର ଗତିଶୀଳତା p-ବ୍ୟାଣ୍ଡ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ଗତିଶୀଳତା ଅପେକ୍ଷା ଅନେକ ଅଧିକ । ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ଓ ଗର୍ତ୍ତମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ସମାନ ହୋଇଥିବାରୁ ଏହି ଧାତୁମାନଙ୍କ ପାଇଁ R_H ଯୁକ୍ତ ।

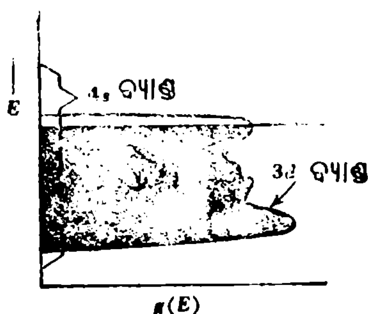
Bi, As, Sb, Se ଓ Te ପରି ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥଗୁଡ଼ିକର ପ୍ରଧାନତଃ ସହସଂଯୋଜକ ବନ୍ଧନ; କିନ୍ତୁ ପରିବାହୀ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ସଂଯୋଜକ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ଅଳ୍ପ ପରିମାଣରେ ତଳ ଉପର ହୋଇ ରହେ । ତେଣୁ ଅଳ୍ପ ସଂଖ୍ୟକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପରିବାହୀ ବ୍ୟାଣ୍ଡକୁ ଯାଇଥାଏ, ଏହାଦ୍ୱାରା ସଂଯୋଜକ ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ ସମସଂଖ୍ୟକ ଛିଦ୍ର ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଥାଏ । ଅଳ୍ପ ସଂଖ୍ୟକ ପରିବାହୀ ଥିବାରୁ ଏହି କଠିନ ପଦାର୍ଥଗୁଡ଼ିକ ଅର୍ଦ୍ଧଧାତୁ କୁହାଯାଏ । ଏପରିକି $0°k$ରେ ସେଗୁଡ଼ିକ ପରିବହନଶୀଳ; କିନ୍ତୁ ଉତ୍ତମ ଧରଣର କୁହନ୍ତି । ହଲ୍ ଅଙ୍କର ଚିହ୍ନ, କେଉଁପ୍ରକାରର ପରିବାହୀର ବାହୁଲ୍ୟ ବେଶୀ ତାହାଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ [ସମୀକରଣ (୨୨·୧୨) ଦ୍ୱାରା]: Bi ପାଇଁ ଏହା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ; କିନ୍ତୁ As ଓ Sb ପାଇଁ ଏହା ଛିଦ୍ର ।

22·8 ଟ୍ରାଞ୍ଜିସନ ଧାତୁ :

ଧାତୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ଯେଉଁଗୁଡ଼ିକରେ d ସୂକ୍ଷ୍ମକୋଷ ପୂର୍ଣ୍ଣ ହୋଇ ନଥାଏ, ବୈଜ୍ଞାନିକ ଓ ଆର୍ଥିକ ଦୃଷ୍ଟିରୁ ସେଗୁଡ଼ିକ ଅତ୍ୟନ୍ତ ଦରକାରୀ । ଏହି ଟ୍ରାଞ୍ଜିସନ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଲୁହା, କୋବାଲ୍ଟ ଓ ନିକେଲ ଫେରୋ ଚୁମ୍ବକୀୟ; ସେମାନଙ୍କର ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁର ବାହ୍ୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସଜ୍ଜା ଯଥାକ୍ରମେ $4s^2\ 3d^6$, $4s^2\ 3d^7$ ଓ $4s^2\ 3d^8$ । ତେବେ, କଠିନ ପଦାର୍ଥ ଆକାରରେ ଥିଲାବେଳେ, $4s$ ସ୍ତର ଗୋଟିଏ ଚଉଡ଼ା ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ ପ୍ରସାରିତ ହୋଇଯାଏ (ଚିତ୍ର ୨୨·୧୩) ଏହା ଅପେକ୍ଷାକୃତ ବହୁତ ସରୁ $3d$ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ଉପରେ ପଡ଼ିଯାଏ । ଟ୍ରାଞ୍ଜିସନ ଧାତୁମାନଙ୍କର ବିଶେଷ ଗୁଣମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ଅନେକ s ଓ d ବ୍ୟାଣ୍ଡଗୁଡ଼ିକ ତଳ ଉପର ହୋଇ ରହିବା ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ ।

ନିକେଲ ଧାତୁରେ s ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ ପ୍ରତି ପରମାଣୁପାଇଁ ହାରାହାରି 0·6 ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଓ d ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ ହାରାହାରି 9·4 ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଥାଏ । Niର ଅଧିକାଂଶ ପରିବହନତା s ବ୍ୟାଣ୍ଡ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ଲାଗି ହୋଇଥାଏ; ପାରମାଣବିକ ସ୍ତରରେ d ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ବନ୍ଧନର କାରଣ ହୋଇଥାଏ, କିନ୍ତୁ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ରୂପରେ d ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକର କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଅଧିକ । ଅତି ମଧ୍ୟ s ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଗୋଟିଏ ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ରଦ୍ୱାରା ତ୍ୱରିତ ହୋଇ ଲାଟିସରେ ବାଧା ପାଇବେ ଓ ଖାଲିଥିବା d ବ୍ୟାଣ୍ଡକୁ ବିକ୍ଷିପ୍ତ ହୋଇଯିବେ । ଏତେ ସହଜରେ s ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ

ବ୍ୟାଣ୍ଡ ବାହାରକୁ ବଢ଼ିଯାଇ ହୋଇ ଯାଉଥିବାରୁ, ନିକେଲ (ଓ ଅନ୍ୟ ଟ୍ରାଞ୍ଜିସନ ଧାତୁ-ସମୂହ)ର d କୋଷଗୁଡ଼ିକ ପୂରିଥିବା ଧାତୁମାନଙ୍କ ଅପେକ୍ଷା ଅଧିକ ରୋଧକତା ହୋଇଥାଏ । Cuର $3d$ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ପୂର୍ଣ୍ଣ ଓ $4s$ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗୋଟିଏ 1 ନିକେଲର ରୋଧକତା ତମ୍ବାର ରୋଧକତା 4ଗୁଣ ।



[ଚିତ୍ର ୨୨·୧୩ ନିକେଲ ଧାତୁରେ $3d$ ଓ $4s$ ବ୍ୟାଣ୍ଡଗୁଡ଼ିକ ଗୋଟିଏ ଉପରେ ହୋଇ ରହିବା ଚିତ୍ର ସାହାଯ୍ୟରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି]

ପ୍ରତି ନିକେଲ ପରମାଣୁର $3d$ ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ ଥିବା ହାରାହାରି ୨·4 ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ-ମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ମୋଟାମୋଟି 5ଟିର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ 1 ଓ 4·4ର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ବିପରୀତ ଦିଗରେ ଥାଇ ସମାନ୍ତର ବା ଅସମାନ୍ତର । ପ୍ରତି ପରମାଣୁରେ 0·6 ହୋଲ ଯୋଡ଼ରେ ରହି ନଥିବା ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଥିବାରୁ, ଫଟିକ ମଧ୍ୟରେ Niର ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ମୋଟରେ ଆସନ୍ନ 0·6 ବୋର୍ । ମାଗ୍ନେଟନ ଚୁମ୍ବକୀୟ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ରହିଥାଏ । ଲୁହା ଓ କୋବାଲ୍ଟର ହାରାହାରି ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ଏହାଠାରୁ ଅଧିକ ଅର୍ଥାତ୍ Coର $1{\cdot}7\mu_B$ ଓ Feର $2{\cdot}2\ \mu_B$ । ହାଇଜେନବର୍ଗ ଏହି ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥଗୁଡ଼ିକର ଫେରୋଚୁମ୍ବକୀୟ ଗୁଣକୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ବିନିମୟ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ସାହାଯ୍ୟରେ ବୁଝାଇଛନ୍ତି; ପଡ଼ୋଶୀ ପରମାଣୁମାନଙ୍କରେ ହୋଲ ହୋଲ ହୋଇ ନଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଘୂର୍ଣ୍ଣନଗୁଡ଼ିକ ସମାନ୍ତର ଭାବେ ରହିବାକୁ ପସନ୍ଦ କରନ୍ତି ବୋଲି ଏହି ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାରେ ଅନୁମାନ କରାଯାଇଅଛି । ଜେନର ଗୋଟିଏ ଭିନ୍ନ ତତ୍ତ୍ୱ ଦେଇଛନ୍ତି । ଏଥିର ହୋଲ ହୋଲ ହୋଇନଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସବୁ ପରମାଣୁମାନଙ୍କରେ ସମାନ୍ତର ଘୂର୍ଣ୍ଣନକୁ ପସନ୍ଦ କରିବା ସହିତ ଏ ତତ୍ତ୍ୱର ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ଅଛି (ହୁଣ୍ଡଙ୍କ ନିୟମ) ।

ପ୍ରଶ୍ନାବଳୀ

୧ । ସିଲଭରରେ ହଲ୍ ପରୀକ୍ଷାରେ 25 A ସ୍ରୋତ ଗୋଟିଏ ଲମ୍ବା ପାତରେ ପଠାଗଲା । ପାତଟି 0·1 mm ମୋଟା (Bର ଦିଗରେ) ଓ 3 cm ଚଉଡ଼ା । ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକୀୟ ପ୍ରେରଣ 1·4 wb/m^2 ହେଲେ ତାଦ୍ୱାରା ଚଉଡ଼ା ଦିଗରେ ହଲ୍ ଭୋଲ୍ଟ କେତେ ଉତ୍ପନ୍ନ ହେଲା ଦେଖାଅ । ଯଦି ସିଲ୍ଭରର ପରିବାହକତା $6{\cdot}8 \times 10^{-3}$ mho/m ହୁଏ; ହଲ୍କୋଣ ଓ ସିଲ୍ଭରରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ଗତିଶୀଳତା ହିସାବ କର ।

ଉତ୍ତର : $29\mu V$; 8×10^{-6} rad; $5{\cdot}7 \times 10^{-6} m^2/V\text{-}s$ ।

୨ । ଗୋଟିଏ ସୁପରିବାହୀର ପ୍ରତି ଘନ ଏକକରେ 5×10^{10} ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଓ 8×10^{10} ରନ୍ଧ୍ର ଅଛି । ଯଦି $\mu_p = 0{\cdot}05$ ଓ $\mu_n = 6{\cdot}09 m^2/V\text{-}s$, ପରିବାହକତା ଓ ହଲ୍ ଅଙ୍କ ହିସାବ କର ।

୩ । ହଲ୍ ଅଙ୍କରୁ (ଟେବୁଲ୍ ୨୨·୧) ଉପରରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ଗତିଶୀଳତା ହିସାବ କର । ଗତିଶୀଳତାରୁ ସମୀକରଣ (୨୧·୨) ବ୍ୟବହାର କରି ଅବସର ସମୟ T ହିସାବ କର ଓ ଦେଖାଅ ଯେ, ଏଥିରୁ ମିଳୁଥିବା ମୂଲ୍ୟ ଅନୁ: ୨୧·୨ରେ ଦିଆଯାଇଥିବା ମୂଲ୍ୟ 2×10^{-14} s ସହିତ ମିଳିଯାଉଛି । ପତ୍ୟେକଟି ପ୍ରତି ପରମାଣୁ ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ଲେଖାଏଁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ନେଇ ହିସାବ କରାଯାଇଅଛି; କିନ୍ତୁ ହଲ୍ ଅଙ୍କ 1·3 ବୋଲି ସୂଚନା ଦେଉଅଛି । ଏପରି ଅବସ୍ଥାରେ Tରେ ଏପରି ଭଲ ମେଳକ କିପରି ଆଶା କରାଯାଇପାରିବ ? (Cuର ପରିବାହକତା ହେଲା 6×10^7 mho/m.) ।

୪ । k ସ୍ଥାନରେ ଗୋଟିଏ ତଳରେ ଗୋଟିଏ ଦ୍ୱିବିମିତିକ ବର୍ଗାକାର ଲାଟିସ୍ ପାଇଁ ପ୍ରଥମ ସାତଟି ବ୍ରିଲୋଇନ ଜୋନ ଦେଖାଅ ।

୫ । ଗୋଟିଏ ଦ୍ୱିବିମିତିକ ଆୟତାକାର ଲାଟିସ୍ ପାଇଁ ($b = 2a$) ପ୍ରଥମ ଛଅଟି ବ୍ରିଲୋଇନ ଜୋନ ଟାଣି ଦେଖାଅ ।

୬ । ଗୋଟିଏ ଦ୍ୱିବିମିତିକ ବର୍ଗାକାର ଲଟିସ୍‌ରେ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ମଡେଲ ଅନୁସାରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନର k ଭେକ୍ଟର ପ୍ରଥମ ବ୍ରିଲେନ କୋନର କୋଣରେ ଶେଷ ହେଲେ, ତା'ର ଶକ୍ତି, ସେହି ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନର k [10] ଭେକ୍ଟର କୋନର ସୀମାରେ ଶେଷ ହୁଏ, ତା'ର ଶକ୍ତିର ଦୁଇଗୁଣ – ଦେଖାଅ । ଗୋଟିଏ ସରଳ ସମଘନ ଲଟିସ୍‌ରେ ପ୍ରଥମ ବ୍ରିଲେନ କୋନର ସୀମାରେ ପହଞ୍ଚୁଥିବା ସର୍ବାଧିକ ଓ ସର୍ବନିମ୍ନ k ଭେକ୍ଟରମାନଙ୍କର ଅନୁପାତ କେତେ ? ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଅନୁରୂପ ଶକ୍ତି ଅନୁପାତ କେତେ ?

୭ । ଗୋଟିଏ ଦ୍ୱିବିମିତିକ ବର୍ଗାକାର ଲଟିସ୍‌ରେ ($a = 3{\cdot}6^{\circ}A$) ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ [43] ଦିଗରେ ଗତି କରୁଅଛି । ଏହିଦିଗରେ k ସ୍ଥାନରେ ପ୍ରଥମ ବ୍ରିଲେନ କୋନର ସୀମା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଦୂରତା କେତେ ? ଦ୍ୱିତୀୟ କୋନ ଓ ତୃତୀୟ କୋନରେ ଏ ଦୂରତା କେତେ ? kର ଏହି ପ୍ରତ୍ୟେକ ମୂଲ୍ୟ ନେଇ ଗୋଟିଏ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ପାଇଁ ଶକ୍ତି ହିସାବ କର ।

୮ । ଅନୁମାନ କର ଯେ, ଗୋଟିଏ ସରଳ ସମଘନାକାର ଲଟିସରେ ଧ୍ରୁବ-ଶକ୍ତି ପୃଷ୍ଠତଳ ଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରଥମ ବ୍ରିଲେନ କୋନର ସୀମାରେ ନପହଞ୍ଚିବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଗୋଲକାକାର ଓ ପ୍ରଥମ ସ୍ତରର ଅନୁରୂପ ଶକ୍ତିଠାରେ ସ୍ତରମାନଙ୍କର ସାନ୍ଦ୍ରତାର ସୂଚ୍ଚାଗ୍ର ମିଳିଥାଏ । ଦର୍ଶାଅ ଯେ, ଏଅବସ୍ଥାରେ ଯେତେବେଳେ କୋନ ପ୍ରତି ପରମାଣୁ ପାଇଁ 1·047 ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଧାରଣ କରେ, ସେତେବେଳେ ସୂଚ୍ଚାଗ୍ର ମିଳିଥାଏ ।

୯ । କପର ଗୋଟିଏ ମୁଖକେନ୍ଦ୍ରିକ ସମଘନାକାର ଗଠନରେ ସ୍ଫଟିକାକାର ଧାରଣ କରେ । Cu ସ୍ଫଟିକ ପାଇଁ ଲଟିସ୍ ଧ୍ରୁବ a ହିସାବ କର । ଯେଉଁ କ୍ଷୁଦ୍ରତମ k ଭେକ୍ଟର ପ୍ରଥମ ବ୍ରିଲେନ କୋନର ସୀମାରେ ପହଞ୍ଚେ, ତାକୁ ବାହାର କର । ଏହା ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନର କେଉଁ ଗତିଜ ଶକ୍ତିର ଅନୁରୂପ ? (Cuରେ $8{\cdot}47 \times 10^{28}$ $atmos/m^3$ ଅଛି)

ଉତ୍ତର : $3{\cdot}61A^{\circ}$, $1{\cdot}61A^{\circ\,-1}$, $9{\cdot}9eV$.

୧୦ । ଲାଟିସ୍ ଭେକ୍ଟର a ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ମୁଖକେନ୍ଦ୍ରିକ ସମଘନାକାର ସ୍ଫଟିକ ପାଇଁ ପ୍ରଥମ ବ୍ରିଲୁଇନ ଜୋନର ଘନଫଳ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର । ଯେଉଁ କ୍ଷୁଦ୍ରତମ k ଭେକ୍ଟର ଜୋନ୍ ସୀମାରେ ପହଞ୍ଚେ, ତାକୁ ବାହାର କର । ଯଦି ପ୍ରଥମ ଜୋନରେ ୪ଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ରହିପାରେ, ଜୋନ୍ ସୀମାରେ ପହଞ୍ଚିବାରେ କ୍ଷୁଦ୍ରତମ k ଭେକ୍ଟର ପାଇଁ ଯଦି ଧନ୍ତାସ୍ତ ମିଳେ, ଦେଖାଅ ଯେ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ପ୍ରତି ପରମାଣୁ ପାଇଁ 1·36 ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଦେଲେ ମିଳିବ ।

ଉତ୍ତର : $32\pi^3/a^3$; $\sqrt{3}\pi/a$.

ତ୍ରୟୋବିଂଶ ଅଧ୍ୟାୟ

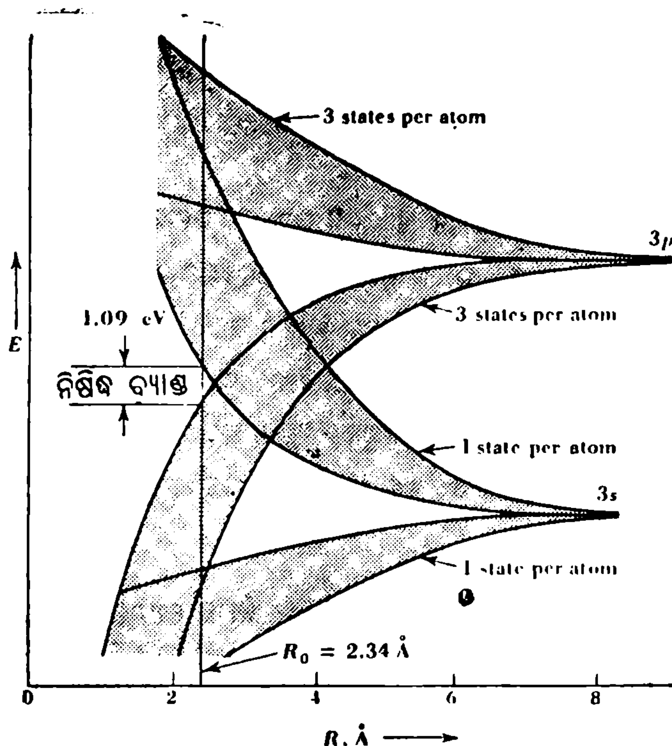
ଅର୍ଦ୍ଧ ପରିବାହୀ

ଧାତବ ପରିବାହୀମାନଙ୍କରେ ଗୋଟିଏ ଆରୋପିତ ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ରଦ୍ୱାରା ପ୍ରବାହିତ ହେବାପାଇଁ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସବୁ ରହିଥାଏ । ଏପରିକି 0°kରେ ମଧ୍ୟ ଏପରି ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ମିଳିଥାଏ । ବାସ୍ତବତଃ, ଉକ୍ତ ଧାତବମାନଙ୍କ ପାଇଁ ନିମ୍ନ ତାପମାତ୍ରାମାନଙ୍କରେ ପରିବହନଶୀଳତା ସର୍ବାଧିକ ହୋଇଥାଏ, କାରଣ ଲାଟିସ୍ ଆଘାତମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଗଡ଼ମୁକ୍ତ ପଥ ଅତି ସାମାନ୍ୟ ପରିମାଣରେ ମାତ୍ର ପ୍ରଭାବିତ ହୋଇଥାଏ । ଅନ୍ୟ ପକ୍ଷରେ ଉତ୍ତମ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଅବରୋଧୀମାନଙ୍କରେ ବାସ୍ତବତଃ ସମସ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ [illegible] ଭାଲେନ୍ସି ବନ୍ଧମାନଙ୍କରେ ଦୃଢ଼ ଭାବରେ ଆବଦ୍ଧ ହୋଇ ରହିଥାନ୍ତି । ଫଳରେ ପରିବହନଶୀଳତା ଅତ୍ୟନ୍ତ କମ୍ ହୋଇଥାଏ । ଏହି ଦୁଇ ଚରମ ଅବସ୍ଥା ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ପଦାର୍ଥମାଳା ରହିଅଛି । ଏଗୁଡ଼ିକୁ ଅର୍ଦ୍ଧ ପରିବାହୀ କୁହାଯାଏ । ଏଗୁଡ଼ିକର ପ୍ରାଧାନ୍ୟ ଦିନକୁ ଦିନ ବଢ଼ିଅଛି । ଏଗୁଡ଼ିକରେ ସ୍ୱଳ୍ପ ତାପମାତ୍ରାରେ ପ୍ରାୟ କୌଣସି ମୁକ୍ତ ପରିବହନକାରୀ ନଥାନ୍ତି; କିନ୍ତୁ ଏଗୁଡ଼ିକ କୋଠରୀର ତାପମାତ୍ରାରେ କେତେକ ପରିମାଣରେ ପରିବାହୀ ହୋଇଥାନ୍ତି ଏବଂ ଏମାନଙ୍କର ପରିବହନଶୀଳତା ତାପମାତ୍ରାର ବୃଦ୍ଧି ଅନୁପାତରେ ବୃଦ୍ଧି ଲାଭ କରିଥାଏ ।

23·1 ଅର୍ଦ୍ଧ ପରିବହନକାରୀ ବସ୍ତୁ :

ଅର୍ଦ୍ଧ ପରିବାହୀ ବସ୍ତୁରେ ଭାଲେନ୍ସି ବ୍ୟାଣ୍ଡ ପୂର୍ଣ୍ଣ ହୋଇଥାଏ ଓ $0°k$ରେ ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ଶୂନ୍ୟ ଥାଏ; କିନ୍ତୁ ଏମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଶକ୍ତି ବ୍ୟବଧାନ ଏତେ କମ୍ ହୋଇଥାଏ ଯେ, କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ତାପମାତ୍ରାରେ ତାପଜ ଉତ୍ତେଜନା ପରିବହନକାରୀମାନଙ୍କର ବ୍ୟବହାରଯୋଗ୍ୟ ସାନ୍ଦ୍ରତା ଆଣି ଦେଇଥାଏ । ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ଅର୍ଦ୍ଧ-ପରିବାହୀ ସ୍ଫଟିକ ରହିଛନ୍ତି, କିନ୍ତୁ ସିଲିକନ୍ ଓ ଜର୍ମାନିୟମର ପ୍ରାଧାନ୍ୟ ବେଶୀ ପରିଲକ୍ଷିତ ହୋଇଥାଏ । ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ଅର୍ଦ୍ଧପରିବାହୀ ହେଉଛନ୍ତି ଦ୍ୱିଅଙ୍ଗୀ ରସାୟନିକ ଯୌଗିକ ପଦାର୍ଥ । ଯେତେକ ପିରିଅଡ଼ିକ୍ ଟେବୁଲର ତୃତୀୟ ସ୍ତମ୍ଭରୁ ଗୋଟିଏ ପଞ୍ଚମ ସ୍ତମ୍ଭରୁ ଗୋଟିଏ ନେଇ ଗଢ଼ା । ଏପରି ପଦାର୍ଥଗୁଡ଼ିକୁ III – V ଯୌଗିକ ବୋଲି କୁହାଯାଏ । ସେଗୁଡ଼ିକର ଉଦାହରଣ ହେଲା $In\,As$, $InSb$ ଓ GaP । ଅନ୍ୟମାନେ II – VI ଯୌଗିକ ଯଥା : CdS, $CdTe$ ଓ ZnS । ଏହି ପଦାର୍ଥଗୁଡ଼ିକ ସାଧାରଣତଃ ଜିଙ୍କବେଣ୍ଡ ଗଠନ ଅନୁସାରେ (ଚିତ୍ର ୨୯·୪) ସ୍ଫଟିକାକାର ଧାରଣ କରନ୍ତି । ଏହା ଡାଏମଣ୍ଡ ଗଠନ ସଦୃଶ ସମାନ । କେବଳ ତଫାତ୍ର ଏତିକି ଯେ, ଦୁଇଟି ମୁଖକେନ୍ଦ୍ରିକ ଉପଲାଟିସ୍ରେ ଭିନ୍ନ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ ରହିଥାନ୍ତି । ଅର୍ଦ୍ଧ ପରିବାହୀମାନଙ୍କର ଆଗ ବ୍ୟବହାର ମଧ୍ୟରୁ ଗୋଟିଏ ହେଲା କପର ଓ ଅଲୁମିନିୟମ ଅକ୍ସାଇଡ଼ ଥିବା ରେକ୍ଟିଫାୟାରମାନଙ୍କରେ ।

ଜରେଗଲା ସମୂହସ୍ତମ୍ଭ IV ବସ୍ତୁମାନଙ୍କ ଭାଲେନ୍ସି ଓ ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡଗୁଡ଼ିକ ମୁକ୍ତ ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ଭାଲେନ୍ସି କକ୍ଷୀୟଗୁଡ଼ିକର ସଙ୍କରୀକରଣରୁ ଜାତ ହୋଇଥାଏ । ସ୍ଫଟିକ ଅବସ୍ଥାରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ S ଓ P ପାରମାଣବିକ ସ୍ତରମାନଙ୍କର ଏପରି ମିଶ୍ରଣ ହୋଇଥାଏ ଯେ, ଆଠଟି (2S ଓ 6P) ଅବସ୍ଥା ଦୁଇଟି ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ ପଡ଼ିଥାଏ (ପ୍ରତ୍ୟେକ ଚାରିଟି ମୂଳ ଅବସ୍ଥା ନେଇଥାଏ) ଓ ଏ ଦୁଇଟି ଗୋଟିଏ ନିଷିଦ୍ଧ ଅଞ୍ଚଳ ଦ୍ୱାରା ପୃଥକ ହୋଇଥାନ୍ତି (ଚିତ୍ର ୨୩·୧) । ଗୋଟିଏ ସ୍ଫଟିକରେ ନିମ୍ନତର (ଭାଲେନ୍ସି) ବ୍ୟାଣ୍ଡଟି $0°k$ରେ ପୂର୍ଣ୍ଣ ଥାଏ, କିନ୍ତୁ ଉଚ୍ଚତର (ପରିବହନ) ବ୍ୟାଣ୍ଡଟି ଶୂନ୍ୟ ଥାଏ । ପାରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା ସଙ୍ଗେ ଶକ୍ତି ପାର୍ଥକ୍ୟ କମିଯାଇଥାଏ, C (ଡାଏମଣ୍ଡ) ପାଇଁ ଏହା 5·3 eV, Si ପାଇଁ ଏହା 1·10 eV, Ge ପାଇଁ 0·72eV ଓ ପାଉଁଶିଆ ଟିଣ ପାଇଁ ଏହା 0·01 eV (ଏହି ପାର୍ଥକ୍ୟର ଠିକ୍ ପ୍ରସ୍ଥ ବିଭିନ୍ନ ଦିଗରେ k ଭେକ୍ଟରମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ; ଉପରେ ଦିଆଥିବା ମୂଲ୍ୟ ସବୁ ମୋଟାମୋଟି ନ୍ୟୂନତମ ପାର୍ଥକ୍ୟ) ।



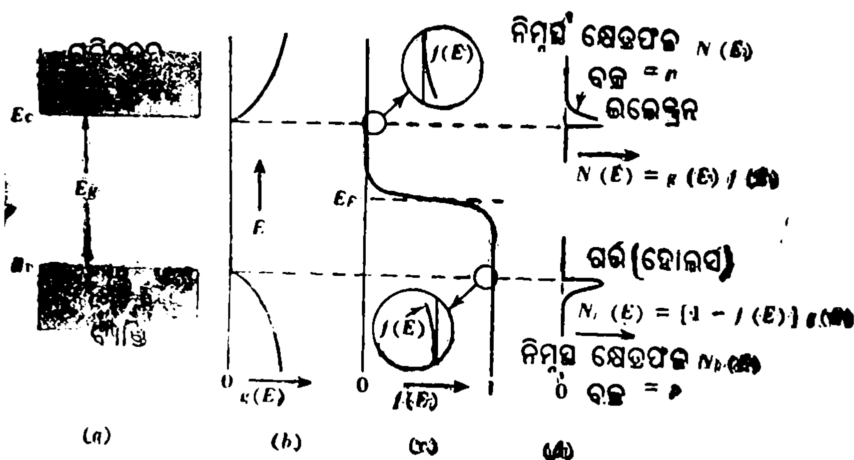
[ଚିତ୍ର ୨୩.୧ ଜନଷ୍ଟ୍ରାମ-ପଡ଼ୋଶୀର ବ୍ୟବଧାନର ଫଳନ ସ୍ୱରୂପରେ ସିଲିକନର ବ୍ୟାଣ୍ଡ ଗଠନ । R_0 ସାଧାରଣ ବ୍ୟବଧାନବେଳେ 3S ଓ 3p ବ୍ୟାଣ୍ଡଗୁଡ଼ିକ ପରସ୍ପର ଉପରକୁ ମାଡ଼ିଯାଇଥାଏ ଓ 1·1eV ଶକ୍ତିର ଫାଙ୍କାସ୍ଥାନ ରହିଥାଏ । ଜର୍ମାନିୟମର 4s ଓ 4p ବ୍ୟାଣ୍ଡ ପାଇଁ ଗଠନ ଏହିପରି (······)]

23·2 ନିଜସ୍ୱ ଅର୍ଦ୍ଧବାହୀ :

କୌଣସି ଅର୍ଦ୍ଧ ପରିବାହୀ ବସ୍ତୁରେ ଅପଦ୍ରବ୍ୟ ନ ଥିଲେ ଶୁଦ୍ଧ ଅବସ୍ଥା ପରମାଣୁର ଗୁଣ-ଗୁଡ଼ିକ କେବଳ ସେହି ବସ୍ତୁର ଗୁଣ । ଏପରି ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁ ନିଜସ୍ୱ ଅର୍ଦ୍ଧ ପରିବାହୀ; ଏହା ଅପମିଶ୍ର ଅର୍ଦ୍ଧ ପରିବାହୀଠାରୁ ଭିନ୍ନ, ଅପମିଶ୍ର ଅର୍ଦ୍ଧପରିବାହୀର ପରିବହନ ଗୁଣଗୁଡ଼ିକ ସେଥି ମଧ୍ୟରେ ଇଚ୍ଛା କରି ପୂରା ଯାଇଥିବା "ଅପଦ୍ରବ୍ୟ" ଫଳରେ ଘଟିଥାଏ । 0°k ଠାରେ

ଗୋଟିଏ ନିଜସ୍ୱ ଅର୍ଦ୍ଧପରିବାହୀର ଶକ୍ତି ବ୍ୟାଣ୍ଡଗୁଡ଼ିକ (ଚିତ୍ର ୨୩.୨କରେ ବର୍ଣ୍ଣନାତ୍ମକ ଭାବରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି) ଗୋଟିଏ ପୂର୍ଣ୍ଣ ଭାଲେନ୍ସି ବ୍ୟାଣ୍ଡ ଓ ଗୋଟିଏ ଶୂନ୍ୟ ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ନେଇ ଗଢ଼ା ଏବଂ ଏ ଦୁହିଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ E_P ଶକ୍ତି ପାର୍ଥକ୍ୟ ରହିଅଛି ।

କୋଠଘର ତାପମାତ୍ରାରେ ଭାଲେନ୍ସି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ଗୋଟିଏ ସାମାନ୍ୟ ଭଗ୍ନାଂଶ ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡକୁ ତାପଜ ପ୍ରଣାଳୀରେ ଉତ୍ତେଜିତ ହେବେ । ଅର୍ଦ୍ଧ ପରିବାହୀର ପରିବହନଶୀଳତା ଏହି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ଲାଗି ଓ ଭାଲେନ୍ସି ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ ସେହି ସଂଖ୍ୟକ ଗର୍ତ୍ତ ହେବା ଲାଗି । ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡର ପ୍ରତି ଏକକ ଘନରେ ରହିଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ-ମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା T ତାପମାତ୍ରାରେ ନିରୂପଣ କରିବା ଲାଗି ଆମେ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ପାଇଁ ଅବସ୍ଥା-ମାନଙ୍କର ସାନ୍ଦ୍ରତା ଫଳନ ଓ ଫର୍ମି ଶକ୍ତି E_F ଜାଣିବା ଦରକାର ।



[ଚିତ୍ର ୨୩.୨ (କ) ଗୋଟିଏ ଅର୍ଦ୍ଧ ପରିବାହୀ ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ତାପରେ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ଗଠନର ରେଖା ଚିତ୍ର (ଖ) ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କର ସାନ୍ଦ୍ରତା $g(E)$; (ଗ) ଫର୍ମି ଶକ୍ତି $f(E)$ ଓ (ଘ) (କ)ରେ ଥିବା ଅର୍ଦ୍ଧ ପରିବାହୀର $N(E)$ ଓ $N_h(E)$ ଫଳନଗୁଡ଼ିକ]

ଯେହେତୁ ଆମେ ସର୍ବଦା ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡର ଧାରକଠାରୁ ତୁଳନାରେ ସେଥିରେ ଅଳ୍ପ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ରହୁଥିବା ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଆଲୋଚନା କରିବା, ସମୀକରଣ (୨୯·୧୧)ର ମୁକ୍ତ-ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଫଳନ ଅନୁମାନଟିକୁ ଗ୍ରହଣ କରିବା ଏକ ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ଆସନ୍ନ ହିସାବ ହେବ (ଚିତ୍ର ୨୩·୨ଖ)

$$g(E)\,dE = \frac{2^{\frac{7}{2}}\pi m^{*\frac{3}{2}}}{h^3}\sqrt{E-E_c}\,dE \qquad (୨୩·୧)$$

ଏଠାରେ ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡର ନିମ୍ନତମ ଦେଶ 0ରେ ନଥାଇ E_cଠାରେ ଅଛି । ଏହା ଆମେ ଗ୍ରହଣ କରିଥାଉଁ ଓ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ବସ୍ତୁତ୍ୱ m ସ୍ଥାନରେ ଆମେ ପରିଣାମୀ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ନେଇଥାଉଁ । ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡର କୌଣସି ଅବସ୍ଥାରେ କଣିକା ରହିବ ତା'ର ସମ୍ଭାବନା ଫର୍ମି ଫଳନ [ସମୀକରଣ (୨୦·୧୬ କ) ଓ ଚିତ୍ର ୨୩·୨ଗ] ଦ୍ୱାରା ମିଳିଥାଏ ଏବଂ ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ ଶକ୍ତି E ଓ $E+dE$ ମଧ୍ୟରେ ଏକକ ଘନ ମଧ୍ୟରେ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ହେବ (ଚିତ୍ର ୨୩·୨ଘ)

$$N(E)dE = g(E)\,f(E)\,dE$$

$$= \frac{2^{\frac{7}{2}}\pi m^{*\frac{3}{2}}}{h^3}\,\frac{\sqrt{E-E_c}}{e^{(E-E_F)/kT}+1}\,dE \qquad (୨୩·୨)$$

ଏଠାରେ ଫର୍ମି ଶକ୍ତି E_F ବାହାର କରିବାପାଇଁ ବାକି ରହିଲା ।

ମୋଟିଏ ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ ପ୍ରତି ଘନ ଏକକରେ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା n ପାଇବାପାଇଁ, ଆମେ $N(E)\,dE$କୁ ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡର ନିମ୍ନତମ ଦେଶ E_cକୁ ଉଚ୍ଚତମ ପୃଷ୍ଠ ଶକ୍ତିସ୍ତର ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ସମାକଳ କରିବା । $f(E)$ଟି $E>>E_F$ ପାଇଁ ଶୂନ୍ୟକୁ ଦ୍ରୁତ ହେଉଥିବାରୁ, ଆମେ nକୁ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ଭାବରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ନକରି ସମାକଳଟିକୁ ଅନନ୍ତକୁ ପ୍ରସାର ଦେଇ ପାରିବା, ତେଣୁ ଆମେ ଲେଖିବା

$$n = \int_{E_c}^{\infty} N(E)\,dE = \int_{E_c}^{\infty} \frac{2^{\frac{7}{2}}\pi m^{*\frac{3}{2}}}{h^3}\,(E-E_c)^{\frac{1}{2}}\,e^{-(E-E_F)/kT}\,dE$$

$$= \frac{2^{\frac{7}{2}} \pi m^{*\frac{3}{2}}}{h^3} e^{-(E_o - E_F)/kT}$$

$$\int_{E_o}^{\infty} (E - E_o)^{\frac{1}{2}} e^{-(E-E_o)/kT} dE$$

$$= 2\left(\frac{2\pi m^* kT}{h^2}\right)^{\frac{3}{2}} e^{-(E_o - E_F)/kT} \qquad (୨୩.୩)$$

ଏଠାରେ $E_o - E_F$ ହେଉଛି ବ୍ୟବହାରଯୋଗ୍ୟ ଅର୍ଦ୍ଧ ପରିବାହୀମାନଙ୍କ ଲାଗି ବହୁତ kT, ତେଣୁ ହରରୁ 1କୁ ଉପେକ୍ଷା କରାଯାଇଅଛି । ଯଦି $m^* \simeq m$, ଅମେ ଦରକାରୀ ସମ୍ବନ୍ଧ

$$n = 4{\cdot}8 \times 10^{21} T^{\frac{3}{2}} e^{-(E_o - E_F)/kT} m^{-3} \qquad (୨୨୩.୩କ)$$

ପାଇବା ଏବଂ $T = 300°k$ ପାଇଁ

$$n = 2{\cdot}5 \times 10^{25} e^{(E_o - E_F)/kT} m^{-3}$$

ଫର୍ମି ଶକ୍ତି E_F ପାଇବା ପାଇଁ ଆମେ ପ୍ରତି ଘନମିଟରରେ ଥିବା ଗର୍ତ୍ତମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ବାହାର କରିବା ଓ ତାକୁ n ସଙ୍ଗେ ସମାନ କରିବା । ଶକ୍ତି E_Fର ତଳକୁ କୌଣସି ଶକ୍ତି Eରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନିକ ଅବସ୍ଥାରେ ରହିବା ନଥିବାର ସମ୍ଭାବନା ହେଲା

$$1 - f(E) = 1/[e^{(E_F - E)/kT} + 1]$$

ଅମେ ବର୍ତ୍ତମାନ ଚିତ୍ର ୨୨.୧୦କୁ ବ୍ୟବହାର କରି ଦୃଢ଼ ଭାବରେ କହିବା ଯେ, ଭାଲେନ୍ସି ବ୍ୟାଣ୍ଡର ଅଗ୍ରଭାଗରେ ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କର ସାନ୍ଦ୍ରତା ଫଳନର ଆକାର ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡର ନିମ୍ନତମ ଦେଶର ସେହି ଫଳନ ସହ ସମାନ (ଚିତ୍ର ୨୩.୨ଖ) – ସମୀକରଣ (୨୩.୧)ରେ $\sqrt{E - E_o}$ ପାଇଁ $\sqrt{E_o - E}$ ବସାଇ ଓ m^* ପାଇଁ ଉପଯୁକ୍ତ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ବସ୍ତୁତ୍ୱ m_h ବସାଇ ଏହା ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରେ । ଯଦି $N_h(E)\,dE$ ପ୍ରତି ଘନ ଏକକରେ E ଓ dE ଶକ୍ତି ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ଗର୍ତ୍ତମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ହୁଏ ଓ P ପ୍ରତି ଘନ

ଏକକରେ ଗର୍ତ୍ତମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ହେବ, ସମୀକରଣ (୨୩.୩) ସହ ଜଵବୃଷ୍ଟେବ ମିଳାଇ ଆମେ ପାଇବା

$$P = \int_{-\infty}^{E_v} N_h(E)dE = \int_{-\infty}^{E_v} \frac{2^{\frac{7}{2}}\pi m_h^{\frac{3}{2}}}{h^3} \sqrt{E_v - E}\; e^{-(E_F - E)/kT}\, dE$$

$$2 = \left(\frac{2\pi m_h kT}{h^3}\right)^{\frac{3}{2}} e^{-(E_F - E_v)/kT}$$

ଗୋଟିଏ ଶୁଦ୍ଧ ଅର୍ଦ୍ଧ ପରିବାହୀ ପାଇଁ $P = n$ରୁ

$$m_h^{\frac{3}{2}} e^{-(E_F - E_v)/kT} = m^{*\frac{3}{2}} e^{-(E_c - E_v)/kT}$$

ବା

$$E_F = \frac{E + E_c}{2} + \frac{3kT}{4} \ln \frac{m_h}{m^*} \qquad (୨୩.୫)$$

ସିଲିକନ୍, ଜର୍ମାନିୟମ ଓ ଅନ୍ୟ ବହୁ ଅର୍ଦ୍ଧ ପରିବାହୀମାନଙ୍କ ପାଇଁ ସମୀକରଣ (୨୩.୫)ର ଶେଷ ପଦ ପ୍ରଥମଟି ତୁଳନାରେ ସାନ ଏବଂ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଭୋଲ୍ଟର କେତେକ ଶତାଂଶ ଧ୍ରୁବ ଥାଏ ମାତ୍ର ଏହାକୁ ହେଳା କଲେ ଯମ ହିସାବରେ ଚଳିଯିବ। ଏପରି ଏକ ଅର୍ଦ୍ଧ ପରିବାହୀ ପାଇଁ ଭ୍ୟାଲେନ୍ସି ବ୍ୟାଣ୍ଡର ଅଗ୍ରଭାଗ ଓ ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡର ନିମ୍ନଦେଶ ମଧ୍ୟସ୍ଥ ଶକ୍ତି ଫାଙ୍କର ଅଧାରେ ଫର୍ମିସ୍ତର ରହିଥାଏ । ତେଣୁ, ଯଦ E_g ପ୍ରାୟ 0 5eV ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ହୁଏ, $e^{(E_c - E_F)/kT}$ ଓ $e^{(E_f - E_v)/kT}$ ଅନ୍ତତଃ e^9 ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ହୁଏ; $e^9 >> 1$ ହୋଇଥିବାରୁ ଉପରେ ଫର୍ମି ଫଳନରେ 1କୁ ହେଳା କରିଦେବା ଉତ୍ତମ ଭାବରେ ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ।

23·3 ପରିବହନତା :

ଜର୍ମାନିୟମ ପାଇଁ $E_g \cong 0·72 eV$ ଓ କୋଠରୀର ତାପମାତ୍ରାରେ ଯେତେବେଳେ $kT = 1/40 eV$, n ଓ p ମୋଟାମୋଟି $2·5 \times 10^{25} e^{-14.4} \simeq 3 \times 10^{19} m^{-3}$

ପ୍ରତି ଘନ ମିଟରରେ ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ହେବ $4.5 \times 20^{28} m^{-3}$, ତେଣୁ ପ୍ରତି 1.5×10^{9} ପରମାଣୁ ପାଇଁ କ୍ୟାଣ୍ଡରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଥାଏ ଓ ସ୍ତ ଳନସି ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ ଗୋଟିଏ ଗର୍ତ୍ତ ଥାଏ (କପରରେ ପ୍ରତି ପରମାଣୁ ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଥିବା ସଙ୍ଗେ ତୁଳନା କର) । geରେ ସ୍ୱଳ୍ପ ସଂଖ୍ୟାକୁ ପରିବହନକାରୀ ଥିଲେ ମଧ୍ୟ ଏହାର ପରିବହନଶୀଳତା ହେବ $2 mhos/m^{-}$ କପରର ଏହ ପରିବହନଶୀଳତା 6×10^{7} ।

ପରିବହନଶୀଳତା $\sigma = ne\mu_n + pe\mu_p$ (୨୩·୭)

ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ [ଦେଖ ସମୀକରଣ (୨୨·୪)] । Cuର ପରିବହନଶୀଳତାର Geର ପରିବହନଶୀଳତା ପ୍ରତି ଅନୁପାତ 3×10^{7}; କିନ୍ତୁ ପରିବହନ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ସାନ୍ଦ୍ରତାର ଅନୁରୂପ ଅନୁପାତ ହେଲ 2×10^{9} – Geରେ Cu ଅପେକ୍ଷା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ-ମାନଙ୍କର ଗତିଶୀଳ 100 ଗୁଣ ହୋଇଥିବାରୁ ଏପରି ଘଟିଥାଏ । Geରେ ଗର୍ତ୍ତର ଗତିଶୀଳତା ମୋଟାମୋଟି $0.2 m^{2}/V-s$, ତେଣୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନେ ସ୍ରୋତର ଦ୍ୱିତୃତୀୟାଂଶ ବହି ନେଇଥାନ୍ତି ଓ ଗର୍ତ୍ତମାନେ ଅବଶିଷ୍ଟାଂଶ ନେଇଥାନ୍ତି ।

ନିଜସ୍ୱ ଅର୍ଦ୍ଧପରିବାହୀରେ ଶକ୍ତି ଫାଙ୍କ E_g ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରିବାର ଗୋଟିଏ ଉପାୟ ହେଲା, ଗୋଟିଏ ବଡ଼ ପରିସର ମଧ୍ୟରେ σକୁ Tର ଫଳନ ସ୍ୱରୂପରେ ମାପ କରିବା । ସମୀକରଣ (୨୩·୩କ), (୨୩·୪) ଓ (୨୩·୫)ରୁ ଆମେ ମୋଟାମୋଟି ଭାବରେ ପାଉ

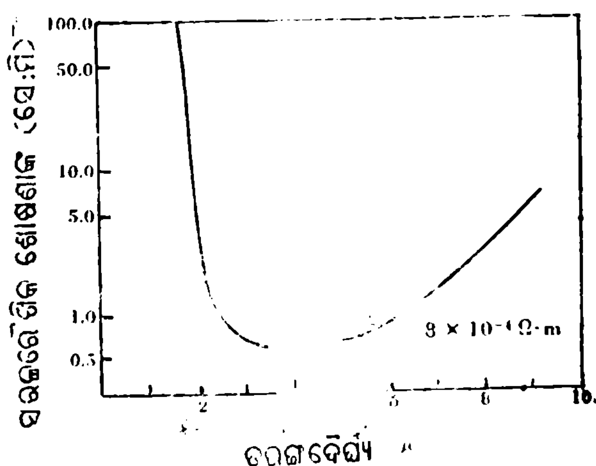
$$n = P = 4.8 \times 18^{21} T^{\frac{3}{2}} e^{-E_g/2kT} \qquad (୨୩·୭)$$

ସମୀକରଣ (୨୩·୭) ସଙ୍ଗେ ଏହାକୁ ମିଳାଇଦେଲେ ମିଳେ,

$$\sigma = 4.8 \times 10^{21} e (\mu_n + \mu_p) T^{\frac{3}{2}} e^{-E_g/2kT} \qquad (୨୩·୭କ)$$

$ln(\sigma/T^{\frac{3}{2}})$କୁ $1/T$ର ଫଳନ ସ୍ୱରୂପରେ ଗ୍ରାଫ୍ ଟାଣିବାରେ $-E_g/2k$ ନତି ବିଶିଷ୍ଟ ମୋଟାମୋଟି ଗୋଟିଏ ସରଳରେଖା ମିଳିବ । ତେଣୁ ନତିର ମାପରୁ E_g ନିର୍ଦ୍ଧାରଣ କରାଯାଇପାରେ । ସରଳରେଖାରୁ ରେଖାଚିତ୍ରର ବିଚ୍ୟୁତି, ଅନ୍ତତଃ ଆଂଶିକଭାବରେ, ଗତିଶୀଳତା ତାପମାତ୍ରା ଉପରେ ନିର୍ଭରଶୀଳ ହୋଇଥିବାରୁ ଘଟିଥାଏ ।

E_gର ପରିମାପର ଗୋଟିଏ ଆଲୋକ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ପ୍ରଣାଳୀରେ ଗୋଟିଏ ଅର୍ଦ୍ଧ ପରିବାହୀର ଗୋଟିଏ ପାତଳ ପରଦାରେ ସରଳ ରୈଖିକ ଶୋଷଣାଙ୍କର ମାପ କରିବାକୁ ହୋଇଥାଏ । ଏହା ଆପତନ ବିକିରଣର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟର ଫଳନ ସ୍ୱରୂପରେ କରାଯାଇଥାଏ । ଏପରି ପରଦା ପାଇଁ ବସ୍ତୁର x ବେଧ ଭେଦ କରୁଥିବା ତୀବ୍ରତା Iକୁ $I = I_0 e^{-\alpha}$ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇଥାଏ, ଏଠାରେ I_0 ହେଲା $x = 0$ ଠାରେ ତୀବ୍ରତା ଓ α ହେଲା ସରଳରୈଖିକ ଶୋଷଣାଙ୍କ । ଗୋଟିଏ ଜର୍ମାନିୟମ ପାଇଁ λର ଫଳନ ସ୍ୱରୂପରେ ଏହି ଗ୍ରାଫ୍ ଚିତ୍ର ୨୩.୩ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଏଠାରେ ବିକିରଣ ଇନ୍‌ଫ୍ରାରେଡ଼ ଅଞ୍ଚଳରେ ଥାଏ । λ ଟି 2μ ଆଡ଼କୁ କମି ଗଲାବେଳେ, ଶୋଷଣ ବଢ଼ିବାକୁ ଆରମ୍ଭ କରେ, କିନ୍ତୁ $\lambda = 1{\cdot}7\mu$ ଠାରେ ଏହା ହଠାତ୍ ବଢ଼ି ଯାଇଥାଏ । ଗୋଟିଏ $1{\cdot}7\mu$ ଫୋଟନର ଶକ୍ତି ହେଲା $0{\cdot}72eV$ ଏବଂ ଏହି ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟରେ ହଠାତ୍ ବୃଦ୍ଧି ହେବାର କାରଣ $0{\cdot}72eV$ ଫୋଟନଗୁଡ଼ିକ ଭାଲେନ୍‌ସି ବ୍ୟାଣ୍ଡରୁ ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡକୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକୁ ଉତ୍ତେଜିତ କରି ପାରନ୍ତି, କିନ୍ତୁ $0{\cdot}6eV$ ଫୋଟନ ଏହା କରିପାରେ ନାହିଁ । ସ୍ୱଳ୍ପ ଫୋଟନ ଶକ୍ତିବେଳେ କେତେକ ଶୋଷଣ ଘଟିବାଟା ଅନ୍ୟ ପ୍ରଣାଳୀମାନଙ୍କ ଲାଗି ହୋଇ

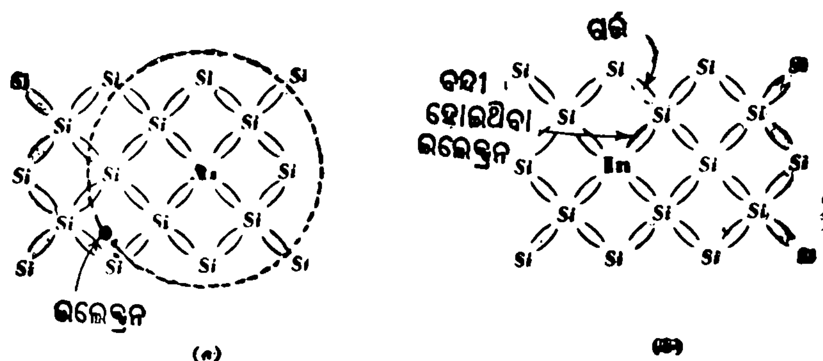


[ଚିତ୍ର ୨୩.୩ ଗୋଟିଏ ଅଳ୍ପ ଖାଦ ମିଶା n – ପ୍ରକାରର ଜର୍ମାନିୟମ ସ୍ଫଟିକର ସରଳରୈଖିକ ଶୋଷଣାଙ୍କ ଇନ୍‌ଫ୍ରାରେଡ଼ ବିକିରଣର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟର ଏକ ଫଳନ ସ୍ୱରୂପରେ]

ମନେ କରାଯାଇଅଛି । ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ରହିଥିବାରୁ ଅଧିକାଂଶ ଅର୍ଦ୍ଧପରିବାହୀ ଧାତବ୍ୟ ସ୍ୱକତନ୍ୟ ଦେଖାଇଥାନ୍ତି, କିନ୍ତୁ ପ୍ରତି ଘନ ଏକକରେ ସଂଖ୍ୟା ଅର୍ଦ୍ଧପରିବାହୀକୁ ଗୋଟିଏ ଉତ୍ତମ ପ୍ରତିଫଳକ ହେବାକୁ କ୍ଷମ କରେ ନାହିଁ ।

23·4 ପରସ୍ପ ଅର୍ଦ୍ଧବାହୀ :

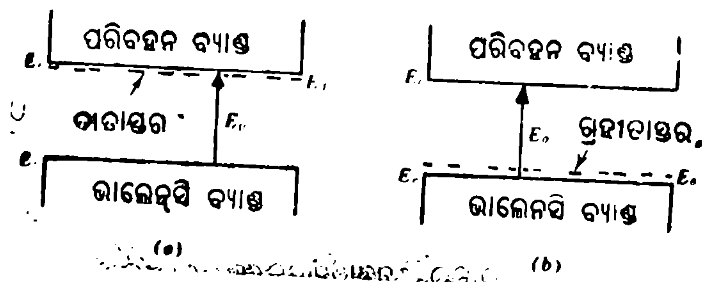
କାର୍ଯ୍ୟତଃ ପ୍ରଧାନ ପ୍ରଧାନ ଅର୍ଦ୍ଧପରିବାହୀ ସବୁରେ ନୂତନ ଅନୁଷଙ୍ଗ ଶକ୍ତିସ୍ତରସବୁ ପାଇବାପାଇଁ କୌଣସି ପାରମାଣବିକ-ଖାଦ ମିଶାଇ ତିଆରି କରାଯାଇଥାଏ । ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟଭାବରେ କହିଲେ, ପ୍ରତି ଅୟୁତରେ ମୋଟେ ଅଂଶ ଭାଲେନ୍ସି-5 ଆର୍ସେନିକ୍ ଗୋଟିଏ ସିଲିକନ ସ୍ଫଟିକରେ ମିଶାଇବାର ଫଳ ବିଚାର କରାଯାଉ । ପ୍ରତି As ପରମାଣୁ ଗୋଟିଏ Si ସ୍ଥାନ



[ଚିତ୍ର ୨୩·୪ (କ) ଯେଉଁ ଲାଟିସ୍ ଅବସ୍ଥାନରେ ଚାରୋଟି ଦରକାର ଥିଲା ଗୋଟିଏ ଆର୍ସେନିକ୍ ପରମାଣୁ ସେଠାକୁ ପାଞ୍ଚଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଆଣି ଦେଇଛି; ପଞ୍ଚମଟି ସହଜରେ ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡକୁ ଉତ୍ତେଜିତ ହୋଇ ଯାଉଅଛି । (ଖ) ଗୋଟିଏ ଇଣ୍ଡିୟମ ପରମାଣୁ ତିନୋଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଆଣିଛି. ଚତୁର୍ଥଟି ଚତୁର୍ଥ ସହଭାଲେଣ୍ଟ ବଣ୍ଡ ପୂରଣ କରିବାପାଇଁ ସହଜରେ ବନ୍ଦୀ ହୋଇ ଯାଉଅଛି।

ଅଧିକାର କରିଥାଏ । ଏହା ଫଳରେ ଏଠାରେ ପାଞ୍ଚଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ମିଳିଥାଏ; କିନ୍ତୁ ନିକଟତମ ପଡ଼ୋଶୀମାନଙ୍କ ସଙ୍ଗେ (ଚିତ୍ର ୨୩·୪କ) ସହଭାଲେଣ୍ଟ ବଣ୍ଡ କରିବାପାଇଁ ମାତ୍ର

ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଦରକାର ହୋଇଥାଏ । ସିଲିକନ କ୍ଷେତ୍ରରେ ବିଦ୍ୟୁତ ପାରକ ଧ୍ରୁବ ହେଲା ସାଧାରଣ ପରିମାଣରେ ଉଚ୍ଚ ($\simeq12$); ଆଂଶିକଭାବରେ ଏହାଫଳରେ As ପରମାଣୁର ପଞ୍ଚମ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତି କେବଳ $0{\cdot}049eV$ । ତାପଜ ଉତ୍ତେଜନା ଫଳରେ, ଏହି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି କ୍ୱଚିତ୍ ଖାଦ ପରମାଣୁରେ ଲାଗି ରହେ ଏବଂ ଅଧିକାଂଶ ସମୟରେ ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ ରହିଥାଏ । ଏହି କାରଣରୁ As ପରମାଣୁକୁ ଦାତା ବୋଲି କୁହାଯାଏ । ଯେଉଁ ଅର୍ଦ୍ଧପରିବାହୀ ଦାତା ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ମିଶାଯାଇ ଗଠିତ ହୋଇଥାଏ, ତାକୁ *n* ପ୍ରକାରର ବୋଲି କୁହାଯାଏ କାରଣ ପରିବହନ ମୂଳତଃ ଦାତାର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ହୋଇଥାଏ । ଶକ୍ତି ଚିତ୍ରରେ (ଚିତ୍ର ୨୩.୫କ) ଦାତା ପରମାଣୁମାନେ ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡର ନିମ୍ନଦେଶର ନିକଟରେ ଏକୁଟିଆ ଏକୁଟିଆ ଦାତା ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକୁ ପ୍ରବେଶ କରାଇଥାଏ ।



[ଚିତ୍ର ୨୩.୫ କ୍ଷେତ୍ରରେ (କ) ଦାତା ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ଓ (ଖ) ଗ୍ରହୀତା ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ, ରହିବା ସ୍ଥାନଗୁଡ଼ିକରେ ପ୍ରବେଶ କରାଯାଇଥିବା ଏକୁଟିଆ ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ]

ଯେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ ଅର୍ଦ୍ଧ ପରିବାହୀ ଉଣ୍ଡିୟମ ପରି ଗୋଟିଏ ଭାଲେନ୍ସି-3 ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥକୁ ସ୍ୱଳ୍ପ ଅନୁପାତରେ କେତେକ ଅଂଶ ଯୋଗକରି ମିଳିଥାଏ, ଖାଦ ପରମାଣୁ ତିନୋଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଅଛି, କିନ୍ତୁ ଯେଉଁଠାରେ ଗୋଟିଏ ସହସଂଯୋଜୀ ବନ୍ଧ ଦରକାର ଥାଏ, ସେହିଠାରେ ରହିଥାଏ । ଏପରି ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁ ସହଜରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବନ୍ଦୀ କରିପାରେ (ଚିତ୍ର ୨୩.୫ଖ) ଏହିପରି ଏହା ଚତୁର୍ଥ ବନ୍ଧ ସୃଷ୍ଟି କରିଥାଏ, ପରମାଣୁଟି ଗୋଟିଏ ଗ୍ରହୀତା ପରି କାର୍ଯ୍ୟ କରିଥାଏ । ବନ୍ଦୀ ହୋଇଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ପରିବହନ ପାଇଁ ମିଳି ନଥାଏ; କିନ୍ତୁ ଯେଉଁଠାରୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ଉତ୍ତେଜିତ ହୋଇଥାଏ । ଭାଲେନ୍ସି

ବ୍ୟାଣ୍ଡର ସେଠାରେ ଗୋଟିଏ ଗର୍ତ୍ତ ରହିଥାଏ । ସେହି ବସ୍ତୁରେ ଗୋଟିଏ ଗ୍ରହୀତା ଖାଦ ସ୍ୱରୂପରେ ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇଥାଏ, ମୂଳତଃ ଗର୍ତ୍ତମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ପରିବହନ କରିଥାଏ । ଏହାକୁ P – ପ୍ରକାରର ଅର୍ଦ୍ଧପରିବାହୀ ବୋଲି କୁହାଯାଇଥାଏ । ଗ୍ରହୀତାମାନେ ନିଷିଦ୍ଧ ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ ଭାଲେନ୍ସି ବ୍ୟାଣ୍ଡର ଅଗ୍ରଭାଗର ପ୍ରାୟ 0·01 eV ଉପରେ (ଚିତ୍ର ୨୩·୫ଖ) ଏକୁଟିଆ ଏକୁଟିଆ ଶକ୍ତିସ୍ତର ସବୁ ପ୍ରବେଶ କରାଇ ଥାଆନ୍ତି । ଟେବୁଲ 23·1 Ge ଓ Siରେ ସାଧାରଣ ଦାତା ଓ ଗ୍ରହୀତା ପରମାଣୁ ସବୁ ସାମାନ୍ୟ ଖାଦରୂପେ ବ୍ୟବହାର କରି ମିଳୁଥିବା ଶକ୍ତିସ୍ତର ସବୁ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି ।

ଟେବୁଲ ୨୩·୧ ସାମାନ୍ୟ ଖାଦ ବ୍ୟବହାର ଦ୍ୱାରା ପ୍ରବେଶ କରାଯାଇଥିବା ସ୍ତରଠାରୁ

ମୂଳ ସ୍ଫଟିକ	ଦାତାର ଆୟନନ ଶକ୍ତି $E_c - E_d$ eV			ଗ୍ରହୀତାର ଆୟନନ ଶକ୍ତି $E_a - E_v$ eV			
	P	As	Sb	B	Al	Ga	In
Ge	0·0120	0·0127	0·0096	0·0104	0·0102	0·0108	0·0112
Si	0·045	0·049	0·039	0·045	0·057	0·065	0·16

ଦାତା ବା ଗ୍ରହୀତା ଯୋଗ କରିବା ପରିବହନଶୀଳତା ନିଜସ୍ୱ ସ୍ତର ଉପରକୁ ଉଠାଇଦିଏ । n – ପ୍ରକାରର ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଅଧିକାଂଶ ପରିବାହକ, କିନ୍ତୁ ଗର୍ତ୍ତମାନେ ସ୍ୱଳ୍ପ ପରିବାହକ । P – ପ୍ରକାରର ପରିବାହୀମାନଙ୍କରେ ଅବସ୍ଥା ବିପରୀତ । ଏଠାରେ ଅଧିକାଂଶ ପରିବାହକ ହେଉଛି ଗର୍ତ୍ତଗୁଡ଼ିକ ।

23·5 ପରସ୍ଥ ଅର୍ଦ୍ଧପରିବାହୀମାନଙ୍କର ଫର୍ମି ସ୍ତର :

ଗୋଟିଏ ନିଜସ୍ୱ ପଦାର୍ଥରେ ଦାତା ଯୋଗ କଲେ ଫର୍ମି ସ୍ତର ଫାଙ୍କାସ୍ତରର ଉପରକୁ ଖାଦ ଓ ତାପମାତ୍ରା ଉପରେ ନିର୍ଭରଶୀଳ ପରିମାଣରେ ଉଠି ଯାଇଥାଏ । ଫର୍ମିସ୍ତର କାହିଁକି ଓ କିପରି ତାପମାତ୍ରା ସହିତ ବିସ୍ଥାପିତ ହୋଇଥାଏ ଜାଣିବାପାଇଁ 0°kଠାରେ n – ପ୍ରକାରର ବସ୍ତୁ ବିଷୟରେ ବିଚାରକର । ଏତେବେଳେ ସ୍ଫଟିକଟି ତା'ର ଭୂମ୍ୟବସ୍ଥାରେ ରହିଥାଏ । ସବୁ ଦାତାସ୍ତରଗୁଡ଼ିକରେ ଭର୍ତ୍ତି ରହିଥାନ୍ତି ଓ ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ କୌଣସି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ନଥାଏ । ଦାତାସ୍ତରମାନଙ୍କ

ଫର୍ମି ଅଧିକାର ସୂଚାଙ୍କ f (E)ଟି 1 ହୋଇଥିବାରୁ ଓ ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ ଏହା 0 ହୋଇଥିବାରୁ, ଫର୍ମିସ୍ତର $E_d \leq E_F \leq E_c$ ପରିସର ମଧ୍ୟରେ କୌଣସିଠାରେ ରହିବ । ଏହା E_d ଓ E_cର ଠିକ୍ ମଝିରେ ସର୍ବଦା ରହିବ ନାହିଁ, କାରଣ ଅପଦ୍ରବ୍ୟମାନଙ୍କର ସାନ୍ଦ୍ରତା ଫଳନ ନିଜସ୍ୱ ଅର୍ଦ୍ଧପରିବାହୀରେ ଯେପରି ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ହୋଇ ରହିଥାଏ, ଏଠାରେ ସେପରି ହୋଇ ନଥାଏ । T ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ, ଦାତାମାନେ କ୍ଷିପ୍ରଭାବରେ ଉତ୍ତେଜିତ ହୋଇଥାନ୍ତି ଏବଂ ଶୀଘ୍ର ଦାତାମାନଙ୍କର ଅବସ୍ଥାର ଅର୍ଦ୍ଧେକ ଶୂନ୍ୟ ହୋଇଯାଇଥାଏ, ଏହି ତାପମାତ୍ରାରେ ଫର୍ମିସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ଦାତାସ୍ତରମାନଙ୍କ ସହ ମିଳି ଯାଇଥାଏ । ତାପମାତ୍ରା ଆହୁରି ବଢ଼ିଲେ ଭାଲେନ୍ସି ବ୍ୟାଣ୍ଡରୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଉତ୍ତେଜିତ ହୋଇଥାନ୍ତି । କାର୍ଯ୍ୟତଃ ଦାତାମାନଙ୍କଠାରୁ ମିଳୁଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସଂଖ୍ୟା ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ ଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସଂଖ୍ୟାର ଏକ କ୍ଷୁଦ୍ର ଅଂଶ । ଏହି ଅବସ୍ଥାରେ ଫର୍ମି ସ୍ତର ଫାଙ୍କା ଶକ୍ତିସ୍ତରର ପ୍ରାୟ କେନ୍ଦ୍ରକୁ ଓହ୍ଲାଇ ଆସିଥାଏ (ଚିତ୍ର ୨୩.୭) ଏବଂ ଅର୍ଦ୍ଧପରିବାହୀଟି ସତେ ଯେପରି ନିଜସ୍ୱ ଅର୍ଦ୍ଧପରିବାହୀ, ସେହିପରି କାର୍ଯ୍ୟ କରିଥାଏ । ସେହିପରି, P–ପ୍ରକାରର ପଦାର୍ଥରେ ଫର୍ମିସ୍ତର $0°k$ରେ E_v ଓ E_a ମଧ୍ୟରୁ $(E_v+E_a)/2$କୁ ଉଚ୍ଚ ତାପମାତ୍ରାରେ ଘୁଞ୍ଚି ଯାଇଥାଏ ।

ଗୋଟିଏ ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପରେ ଗୋଟିଏ Ge କ୍ରିଷ୍ଟାଲରେ $300°K$ରେ $3{\cdot}7 \times 10^{22}$ ପରମାଣୁ$/m^3$ ହାରରେ ଗାଲିୟମ ଖାଦ ମିଶାଇ, ଯାର ଫର୍ମି ସ୍ତର ସ୍ଥିରୀକୃତ କରାଯାଉ । ଏହି ତାପମାତ୍ରାରେ $kT = 0{\cdot}026eV$ । ସ୍ୱର୍ଣ୍ଣ ସଂରକ୍ଷଣ ପ୍ରଣାଳୀ ଅନୁସାରେ ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଓ ଅୟନୀକୃତ ଗ୍ରହୀତାମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟାର ଯୋଗଫଳ ଭାଲେନ୍ସି ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ ଥିବା ଗର୍ତ୍ତମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ସହିତ ସମାନ; ତେଣୁ, ଯଦି ଆମେ $E_v = 0$ ନେବା

$$2{\cdot}5 \times 10^{25}\, e^{-(0.72-E_F)/0.026} + \frac{3{\cdot}7 \times 10^{22}}{e^{(0.0108-E_F)/0.026}+1}$$

$$= 2{\cdot}5 \times 10^{25} e^{-E_F/0{\cdot}026}$$

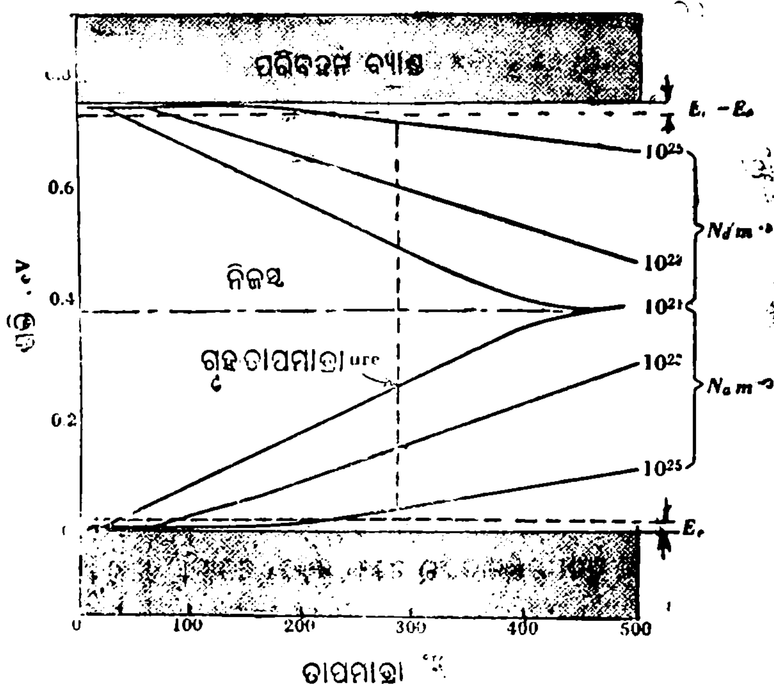
$$2{\cdot}5 \times 10^{25} \times 2 \times 10^{-12} e^{-E_F/kT} \frac{3{\cdot}7 \times 10^{22}}{1{\cdot}5\, e^{-E_F/kT}+1}$$

$$= 2{\cdot}5 \times 10^{25} e^{-E_F/kT}$$

$$1{\cdot}48\times10^{-3}=e^{-E_F/kT} \quad \text{or} \quad E_F=0{\cdot}17\ eV$$

ଏ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଫର୍ମିସ୍ତର 0·17eV ଭାଲେନ୍‌ସି ବ୍ୟାଣ୍ଡର ଉପରକୁ ରହିବ ଏବଂ ଏହା ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡର ନିମ୍ନଦେଶରୁ ଦୂରତାର ଏକ ଚତୁର୍ଥାଂଶ ।

ଗୋଟିଏ ଖାଦମିଶା ଅର୍ଦ୍ଧ ପରିବାହୀ ପାଇଁ ପରିବହନକାରୀ ସାନ୍ଦ୍ରତା n ଓ p ସମାନ ନୁହେଁ; କିନ୍ତୁ ଯେପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ E_Fଟି ପରିବହନ ଓ ଭାଲେନ୍‌ସି ବ୍ୟାଣ୍ଡ, ଉଭୟଠାରୁ କେତେକ kT ଦୂରରେ ରହିଥାଏ, ଗୋଟିଏ ନିଜସ୍ୱ ଅର୍ଦ୍ଧ ପରିବାହୀ ପାଇଁ ସେମାନଙ୍କର



[ଚିତ୍ର ୨୩.୭ ଖାଦର ବିଭିନ୍ନ ସାନ୍ଦ୍ରତାରେ n ଓ p – ପ୍ରକାରର ଜର୍ମାନିୟମ ପାଇଁ ତାପମାତ୍ରାର ଫଳନ ଭାବରେ ଫର୍ମିସ୍ତରର ଅବସ୍ଥାନ]

ଗୁଣଫଳର ଅନୁରୂପ ଗୁଣଫଳ ଏକା ହୋଇଥାଏ । ସେତେବେଳେ

$$n\,p=(4{\cdot}83\times10^{21})^2T^3\,e^{-E_g/kT}=(nP)\ \text{ନିଜସ୍ୱ} \qquad (୨୩.୮)$$

ଏପରିକି ଯେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ ସ୍ଫଟିକରେ ସହ୍ମିତାକୁ ଖାଦ ଖିବରେ କଆଯାଏ, ସେତେବେଳେ ସର୍ବଦା କେତେକ ଦାତା ସ୍ତର ଥାଏ । ତେବେ, ଯେପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଗ୍ରହୀତାମାନଙ୍କର ସାନ୍ଦ୍ରତା ଦାତାମାନଙ୍କର ସାନ୍ଦ୍ରତାଠାରୁ ଅଧିକ ହୋଇଥାଏ, ଦାତା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ମାନେ ଗ୍ରହୀତା ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକୁ ପୂର୍ଣ୍ଣ କରିଥାନ୍ତି ଓ ଫଳରେ ଗ୍ରହୀତା ଓ ଦାତାମାନଙ୍କର ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକର ସାନ୍ଦ୍ରତାମାନଙ୍କର ଅନ୍ତରଟି କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ଗ୍ରହୀତା ସାନ୍ଦ୍ରତା ହୋଇ ଗୋଟିଏ p – ପ୍ରକାରର ବସ୍ତୁ ମିଳିଥାଏ । ତେଣୁ ଦାତା ଓ ଗ୍ରହୀତାମାନେ ପରସ୍ପରକୁ "ସମତୁଲ" କରିପାରନ୍ତି । ପ୍ରକୃତରେ, ଦାତା ଓ ଗ୍ରହୀତାମାନଙ୍କର ପରିମାଣ ସମାନ ନେଇ ପଦାର୍ଥଗୁଡ଼ିଏ ଗଠନ କରିବା ସହଜ । ସେଗୁଡ଼ିକୁ ଖାଦ ଶୂନ୍ୟ କରି ପାଇବା ଏହା ଅପେକ୍ଷା କଷ୍ଟକର । ଗୋଟିଏ ଖାଦମିଶା ସ୍ଫଟିକ ନିଜସ୍ୱ ବ୍ୟବହାର ଦେଖାଇଲେ ତାକୁ ସମତୁଲ ପଦାର୍ଥ କୁହାଯାଏ । ଯଦି N_d^+ ଓ N_a^- ଯଥାକ୍ରମେ ଆୟନୀକୃତ ଦାତା ଓ ଗ୍ରହୀତାମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ହୁଏ, ଚାର୍ଜ ସନ୍ତୁଳନ ହେବାପାଇଁ

$$n + pN_a^- = N_d^+ \qquad (୨୩୯)$$

ସର୍ତ୍ତ ଦରକାର ହୋଇଥାଏ ।

n – ପ୍ରକାରର ଅର୍ଦ୍ଧ ପରିବାହୀ ପାଇଁ ତାପମାତ୍ରା ଅନୁସାରେ n ଓ pର ପରିବର୍ତ୍ତନ ଚିତ୍ର ୨୩'୨ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଯଦିର ଫର୍ମିସ୍ତର କେବଳ kT ଫର୍ମି ସ୍ତର ତଳେ ରହିଗଲେ, ପ୍ରଧାନତଃ ସମସ୍ତ ଦାତା ଆୟନୀକୃତ ହୋଇଯିବେ; କିନ୍ତୁ ଅନେକ ତାପମାତ୍ରା ପରିସର ମଧ୍ୟରେ ଭାଲେନ୍ସ ବ୍ୟାଣ୍ଡରୁ କେତୋଟି ଇଲେକଟ୍ରନ ଉତ୍ତେଜିତ ହେବେ । ଏହି ଅବସ୍ଥାର ପରିସରରେ ପରିବହନଶୀଳତା σ କମ୍ ପରିମାଣରେ ତାପମାତ୍ରା ସହ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇଥାଏ, ଖାଦ ପରିସରରେ (ଅଳ୍ପ ତାପମାତ୍ରାରେ) ବା ନିଜସ୍ୱ ପରିସରରେ (ଉଚ୍ଚ ତାପମାତ୍ରାରେ) ଏହା ଅଧିକ ପରିମାଣରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇଥାଏ । ge ପାଇଁ ସାଧାରଣତଃ ପ୍ରାୟ 400°kରେ ଅବସ୍ଥାର ପରିସର ଶେଷ ହୋଇଥାଏ; କିନ୍ତୁ Si ପାଇଁ ଏହା ପ୍ରାୟ 500°k । ଏହି ତାପମାତ୍ରାଗୁଡ଼ିକର ଉପରକୁ ଅର୍ଦ୍ଧ-ପରିବାହୀ ସବୁ ପ୍ରଧାନତଃ ନିଜସ୍ୱ ପରି କାର୍ଯ୍ୟ କରିଥାଏ ଏବଂ ଖାଦ ମିଶାଇଲେ ଉଦ୍ଦେଶ୍ୟ ଆଉ ପୂରଣ ହୁଏନାହିଁ ।

ନିଜସ୍ୱ ପରିସର
ବହିଷ୍କାର ପରିସର
ଖାଦପରିସର
ଗୋଷ୍ଠିତ୍ୱ n ବା ଗୋଷ୍ଠିତ୍ୱ p
ଆନତୀକୋଣ ≅ $\frac{E_d - E_c}{2k}$
Electrons
ଆନତୀକୋଣ ≅ $\frac{E_g}{2k}$
Intrinsic line
ଆନତୀକୋଣ ≅ $\frac{E_g}{k}$
ଗର୍ତ୍ତ
$1/T \rightarrow$

[ଚିତ୍ର ୨୩-୭ ଗୋଟିଏ n ପ୍ରକାରର ଅର୍ଦ୍ଧପରିବାହୀରେ ପରମତାପମାତ୍ରାର ବ୍ୟୁତ୍କ୍ରମ ଅନୁପାତରେ ଇଲେକଟ୍ରନ ଓ ଗର୍ତ୍ତର ସାନ୍ଦ୍ରତାର ପରିବର୍ତ୍ତନ]

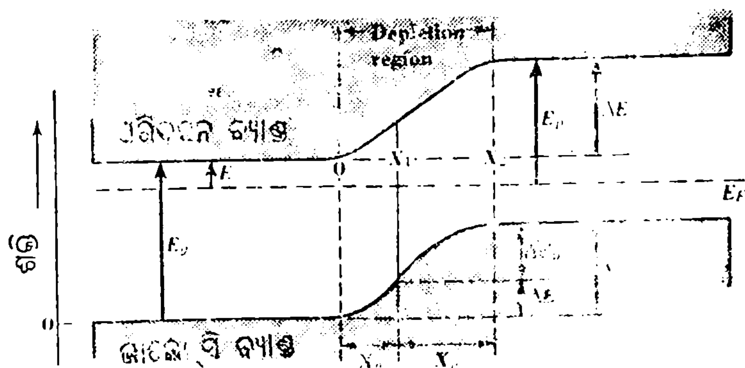
23·6 P–n ମିଳନ ସ୍ଥଳ :

ଗୋଟିଏ P ପ୍ରକାରର ଅଞ୍ଚଳ ଓ ଗୋଟିଏ n ପ୍ରକାରର ଅଞ୍ଚଳର ମିଳନ ସ୍ଥଳକୁ P–n ମିଳନ ସ୍ଥଳ କୁହାଯାଏ । ସଂକ୍ରମଣ ଅଞ୍ଚଳ ସାଧାରଣତଃ ଚଉଡ଼ାରେ 1μ ଓ ଗୋଟିଏ ମୂଳ ସ୍ଫଟିକ ମଧ୍ୟରେ ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଥାଏ । (ଯଦି କେହି ଖଣ୍ଡେ P ବସ୍ତୁକୁ ଖଣ୍ଡେ n ବସ୍ତୁ ସଙ୍ଗେ ଯୁଡ଼ି P–n ମିଳନସ୍ଥଳ ପାଇବାପାଇଁ ଚେଷ୍ଟା କରେ ଏପରି ଅଣୁକଣା ଓ ଶକ୍ତ ସ୍ତରରେ ଏପରି ଅବାଞ୍ଛିତ ଅଞ୍ଚଳ ସୃଷ୍ଟି ହୁଏ ଯେ, ମିଳନ ସ୍ଥଳର ଆଶା କରାଯାଉଥିବା ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଗୁଣସବୁ ମିଳି ନଥାଏ) । ଆମେ ନିମ୍ନରେ ଆଲୋଚନା କରିଥିବା ମିଳନସ୍ଥଳ ସ୍ଥିତିକ ପାଇଁ ଅନୁମାନ କରିବା ଯେ, ଗୋଟିଏ ସଂଖ୍ୟାଲଘୁ ପରିବାହକ (ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ବା ଗର୍ତ୍ତ) ଗୋଟିଏ ସଂଖ୍ୟାଧିକ ପରିବାହକ ସଙ୍ଗେ ମିଳିତ ହେବାପୂର୍ବରୁ ସ୍ଫଟିକ ମଧ୍ୟରେ ଯେତେଦୂର ବିସ୍ତାରିତ ହୋଇଥାଏ, ମିଳନ ସ୍ଥଳର ପ୍ରସ୍ଥ ତା ତୁଳନାରେ କମ୍ ।

$p-n$ ମିଳନସ୍ଥଳର ପାଇଁ ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାର ଶକ୍ତି ରେଖାଚିତ୍ର ୨୩.୮ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଏଥିରେ ସୁବିଧା ଦୃଷ୍ଟିରୁ n ଅଞ୍ଚଳରେ ଭାଲେନ୍ସି ବ୍ୟାଣ୍ଡର ଶୀର୍ଷ ସ୍ତରରେ ଆମେ ମନଇଚ୍ଛା ଶୂନ୍ୟକୁ ବସାଇ ଦେଇଅଛୁ; ତେଣୁ ଏଥିରେ ΔE ହେଉଛି P ଅଞ୍ଚଳର ଭାଲେନ୍ସି ବ୍ୟାଣ୍ଡର ଶୀର୍ଷସ୍ତରର ଅନୁରୂପ ଶକ୍ତି । ଏପରି ଏକ ଚିତ୍ର କପରି ହେଲା ଦେଖିବାପାଇଁ ଗୋଟିଏ ଏକା ବସ୍ତୁର ଆଦର୍ଶ n ସ୍ଫଟିକ ଓ ଗୋଟିଏ ଆଦର୍ଶ P ସ୍ଫଟିକ ଏକାଠି କର । ଯେତେବେଳେ ସାମ୍ୟାବସ୍ଥା ମିଳିବ, ଫର୍ମିସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ମିଳିଯିବେ । ଏହା n ବସ୍ତୁରୁ P ବସ୍ତୁକୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସ୍ଥାନଚ୍ୟୁତ ଫଳରେ ଘଟିବ, ଏହାଦ୍ୱାରା ମିଳନ ସ୍ଥଳର ଅଞ୍ଚଳରେ P ପଟେ ଗ୍ରହୀତାସ୍ତରଗୁଡ଼ିକରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ରହି ଓ n ପଟେ ଆୟନୀଭୂତ ଦାତାଙ୍କ ନେଇ ଗୋଟିଏ ଦ୍ୱିସ୍ତର ସୃଷ୍ଟି ହେବ । ଏହା ଫଳରେ n ଓ p ଅଞ୍ଚଳ ମଧ୍ୟରେ ΔE ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ତାରତମ୍ୟ ଘଟିବ । ଗୋଟିଏ ସରୁଆ ମିଳନସ୍ଥଳ ପାଇଁ ସଂକ୍ରମଣ ଅଞ୍ଚଳ ସଂକୀର୍ଣ୍ଣ, ଏଥିରେ n ପଟେ ଅଧିକା ହେଉଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସଂଖ୍ୟା n ବସ୍ତୁ ହରାଉଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସଂଖ୍ୟା ସଙ୍ଗେ ସମାନ ହେବା ପାଇଁ

$$N_d X_n = N_a X_p \qquad (୨୩.୧୦)$$

ଏଠାରେ X_n ଓ X_p ହେଲେ ଯଥାକ୍ରମେ n ଓ p ଅଞ୍ଚଳରେ ମିଳନ ସ୍ଥଳର ପ୍ରସ୍ଥ; ଏବଂ N_d ଓ N_a ହେଲେ ଦାତା ଓ ଗ୍ରହୀତା ସାନ୍ଦ୍ରତା ।



[ଚିତ୍ର ୨୩.୮ ପ୍ରବାହିତ ନ ହୋଇଥିବା $n-p$ ମିଳନସ୍ଥଳର ଶକ୍ତି ରେଖାଚିତ୍ର]

ସମୀକରଣ ୨୩·୧୯) ଲେଖିବାରେ ଆମେ ଅନୁମାନ କରୁଥାଉ ଯେ, X_nରେ ସମସ୍ତ ଦାତା X_pରେ ଦବୁ ଛଦ୍ମୀତା ଅବସ୍ଥା ପୂର୍ଣ୍ଣ କରିବା ପାଇଁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଦେଇଛନ୍ତି । ଏପ୍ରକାରର ଅନୁମାନ ଗୋଟିଏ ସହସା ମିଳନସ୍ଥଳ ପାଇଁ ଠିକ୍ । ମିଳନସ୍ଥଳର ସମସ୍ତ ସ୍ଥଳରେ ପରିବାହକମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା କମିଯାଇଅଛି, ଆମେ ଏହାକୁ ଗୋଟିଏ ହ୍ରାସ ସ୍ତର ବୋଲି କହୁବା ।

0 ଠାରୁ X_n ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଅଞ୍ଚଳ ମଧ୍ୟରେ ପରିଣାମୀ ଶୁଳ୍କ ସାନ୍ଦ୍ରତା ρ ହେଲା $N_d e$, ଏହା ସଙ୍ଗେ ଯୁକ୍ତ ଗୋଟିଏ ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ର $\vec{E}$ ଓ ଗୋଟିଏ ବିସ୍ଥାପନ $\vec{D}$ । $\vec{\nabla}\cdot\vec{D}=\vec{\nabla}\cdot k\,\epsilon_0\vec{E}=\rho$ରୁ ଆମେ ପାଇବା $0\leq x\leq x_n$ ।

$$K\epsilon_0\frac{d\vec{E}}{dx}=N_d e \qquad (୨୩·୧୧କ)$$

ବା

$$\vec{E}=\frac{N_d e x}{K\epsilon_0} \qquad (୨୩·୧୧ଖ)$$

କାରଣ $x=0$ ଠାରେ $\vec{E}=0$ (ଚିତ୍ର ୨୩·୮ର ଉପର ଅଂଶ ଦେଖ) । $0<x<x_1$ ପାଇଁ ତାହାଙ୍କୁ ଏକ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଶକ୍ତି $\vec{E}_n=N_d e x/k\epsilon_0$ ଅଛି । ସେହି ପ୍ରକାରର ଏକ ଆଲୋଚନା $X_1<x<X_2$ ଅଞ୍ଚଳ ପାଇଁ କଲେ $\vec{E}_p=N_d e\,(X_2-X)/k\epsilon_0$ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଶକ୍ତି ତାହାଙ୍କୁ ମିଳିବ । (ଚିତ୍ର ୨୩·୮ ପର ଗ୍ରାଫରେ y ଅକ୍ଷଟି ସର୍ବଦା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଶକ୍ତି) । $0<X<X_1$ ପରିସର ମଧ୍ୟରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଶକ୍ତି

$$\int_0^{X_1}(e^2N_d x\,dx)/k\epsilon_0 \text{ ହୋଇ ଓ } x_1<x<x_2 \text{ ପାଇଁ } \int_{X_1}^{X_2}(e^2N_d x\,dx)/k\epsilon_0$$

ଦ୍ୱାରା ବର୍ଦ୍ଧିତ ହୋଇଥାଏ, ତେଣୁ

$$\Delta E_n = \frac{N_d e^2 X_n^2}{2k\epsilon_0} \qquad (୨୩.୧୨କ)$$

ଓ

$$\Delta E_p = \frac{N_a e^2 X_p^2}{2k\epsilon_0} \qquad (୨୩.୧୨ଖ)$$

ସମୀକରଣ ୨୩.୧୦) ଓ (୨୩.୧୨)ରୁ ଦେଖି ପାରିବା ଯେ, ଅଧିକ ଖାଦ (ଅଧିକ N_a ଓ N_d) ସଂକୀର୍ଣ୍ଣ ମିଳନସ୍ଥଳ ଦେଇଥାଏ ଓ ଅଳ୍ପ ଖାଦ ଓ ଚଉଡ଼ା ମିଳନସ୍ଥଳ ଦେଇଥାଏ ।

23.7 P-n ରେକ୍ଟିଫାୟର :

ଯେତେବେଳେ *p-n* ମିଳନସ୍ଥଳରେ ସାମ୍ୟାବସ୍ଥା ମିଳିଥାଏ, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଏହା ଦ୍ୱାରରେ ଉଭୟ ଦିଗରେ ଗତି କରିଥାନ୍ତି ଓ ରନ୍ଧ୍ରମାନେ ମଧ୍ୟ ସେହିପରି ଗତି କରିଥାନ୍ତି । *n* ଅଞ୍ଚଳର ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ ଅତ୍ୟନ୍ତ ଅଧିକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସାନ୍ଦ୍ରତା ଥିବାବେଳେ, ଚିତ୍ର ୨୩.୮ରେ କେବଳ ΔE_0ଠାରୁ ଅଧିକ ଗତିଜ ଶକ୍ତିଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ମାନେ କେବଳ ପ୍ରାଚୀର ଡେଇଁ ପାରନ୍ତି । ଅନ୍ୟପକ୍ଷରେ, ମିଳନସ୍ଥଳର *p* ପଟେ ଯେଉଁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପହଞ୍ଚେ, ତାହା ମିଳନସ୍ଥଳର କ୍ଷେତ୍ର *n* ପଟକୁ ଗୋଳିଏ ବଳ ପ୍ରୟୋଗକରି ଦେଖିପାରେ । *p* ଅଞ୍ଚଳରେ ରନ୍ଧ୍ର ସାନ୍ଦ୍ରତା *n* ଅଞ୍ଚଳରେ ଏହି ସାନ୍ଦ୍ରତା ଅପେକ୍ଷା ଅଧିକ, କିନ୍ତୁ ପ୍ରାଚୀର ପୁନ ପୂର୍ବି ରନ୍ଧ୍ରଗୁଡ଼ିକର ଗତି ରୋଧ କରେ । (ମନେ ରଖ ଯେ ରନ୍ଧ୍ରଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ କମ୍ଭର ଶକ୍ତି ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ଉପରଆଡ଼କୁ ରହିଥାଏ, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଯେପରି ଘଟେ, ତା'ର ଠିକ୍ ବିପରୀତ) ।

ଯେତେବେଳେ ମିଳନସ୍ଥଳର ଉଭୟପଟେ ଥିବା ଟର୍ମିନ୍ସଲଗୁଡ଼ିକ ମିଳାଯାଏ, *p* ଅଞ୍ଚଳରୁ *n* ଅଞ୍ଚଳକୁ ଗତି କରୁଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ସୃଷ୍ଟ ସ୍ରୋତ I_0ର ପରିମାଣ P ଅଞ୍ଚଳର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସାନ୍ଦ୍ରତାକୁ ଅନୁପାତୀ ହେବ; ଏଣୁ ସମୀକରଣ (୨୩ ୩କ) ଦ୍ୱାରା $c_1 e^{-E_g/kT}$ ରୂପେ ଲେଖାଯାଇ ପାରିବ । ଏହା *n*ରୁ P ଅଞ୍ଚଳକୁ ସ୍ୱମ ପରିମାଣରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପ୍ରବାହ ଦ୍ୱାରା ସନ୍ତୁଳ କରାଯାଇ ପାରିବ । ଏହି ପ୍ରବାହରେ

ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସଂଖ୍ୟା $\triangle E$ ପ୍ରାଚୀର ଡେଇଁପାରିବା ଭଳି n ଅଞ୍ଚଳରେ ଯେତିକି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଅଛି, ତାକୁ ଅନୁପାତୀ । ସମୀକରଣ (୨୯.୧୪) ଅନୁସାରେ ଏହି ସ୍ରୋତର ପରିମାଣ $c_2 e^{-\triangle E/kT}$ ଏବଂ ଆମେ ପାଉ,

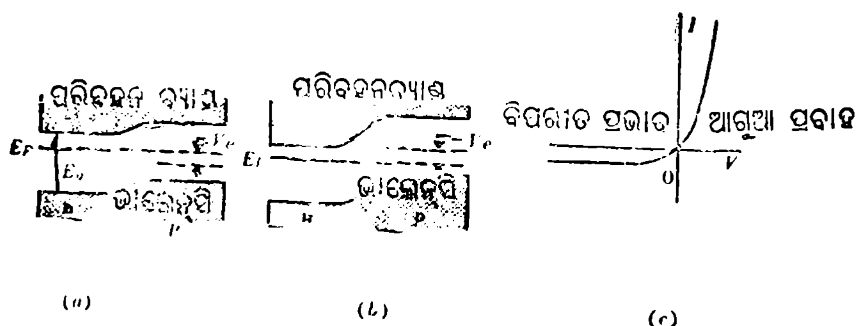
$$I_{0e} = c_1 e^{-E_p/kT} = c_2 e^{-\triangle E/kT} \qquad (୨୩.୧୩କ)$$

ଗର୍ତ୍ତମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଏହିପରି ସମ୍ବନ୍ଧ (ଚିତ୍ର ୨୩.୮ ସାହାଯ୍ୟରେ)

$$I_{0h} = c_3 e^{-\triangle E/kT} - c_4 e^{-(E_g - E_n)/kT} \qquad (୨୩.୧୩ଖ)$$

ମିଳ ପାରିବ ।

ମିଳନସ୍ଥଳରେ ଏକ ପ୍ରଭବ (ବାୟସ) ବିଭବ ପକାଇବାବେଳେ କ'ଣ ଘଟିବ, ବର୍ତ୍ତମାନ ଆମେ ବିଚାର କରିବା । ଏହି ଅବସ୍ଥାରେ ଯେତେବେଳେ p ଅଞ୍ଚଳଟି ଯୁକ୍ତ ସ୍ଥିବିଭବରେ ପ୍ରଭାବିତ ହେବ, ସେତେବେଳେ ସ୍ରୋତ ଅନୁସାରେ ମିଳନସ୍ଥଳର ସ୍ରୋତକୁ ଯୁକ୍ତ ଓ n ଅଞ୍ଚଳ ପାଇଁ ବିଯୁକ୍ତ କହିବା । ସେତେବେଳେ ସ୍ରୋତ ଅନୁଯାଇ ପ୍ରବାହିତ ସ୍ରୋତ (ଚିତ୍ର ୨୩.୯କର) $-x$ ଦିଗରେ ହେବ ଓ ଆଗୁଆ ସ୍ରୋତ ଅଗୁଆ ପ୍ରଭବ ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ ବୋଲି କୁହାଯିବ । ଏହି ଘଟଣାରେ V ହେଲା ଯୁକ୍ତ । ଯେତେବେଳେ n ଅଞ୍ଚଳ ଯୁକ୍ତ ପ୍ରଭବ ପାଏ, V ବିଯୁକ୍ତ ହୁଏ ଓ ମିଳନସ୍ଥଳଟି ବିପରୀତ ପ୍ରଭବ (ଚିତ୍ର ୨୩.୯ଖ) ପାଏ; ଏହା ଫଳରେ ପ୍ରବାହକୁ ସ୍ରୋତ କୁହାଯାଏ ।



[ଚିତ୍ର ୨୩.୯ $n-P$ ମିଳନସ୍ଥଳ (କ) ଆଗୁଆ ପ୍ରଭବ ଓ (ଖ) ବିପରୀତ ପ୍ରଭବ (ଗ) ପ୍ରଭବ ବିଭବର ଫଳନ ରୂପରେ ସ୍ରୋତ]

ସେତେବେଳେ $p-n$ ରେକ୍ଟିଫାୟରରେ ପ୍ରସ୍ତବ ବିଭବ ପ୍ରୟୋଗ କରାଯାଏ, ଏହାର ଅଧିକାଂଶ ମିଳନସ୍ଥଳର ଅଞ୍ଚଳରେ ଦେଖା ଦେଇଥାଏ । ଏ ଅଞ୍ଚଳରୁ ପରିବାହକ ହ୍ରାସ ଘଟିଥାଏ ଓ ସେହି କାରଣରୁ ଏହା ରୋଧକତା ଅଧିକ ହୋଇଥାଏ । ଠିକ୍ ମିଳନସ୍ଥଳ ଅଞ୍ଚଳରେ ପ୍ରସ୍ତବକୁ V ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରାଯାଉ, ସେତେବେଳେ ଆରୋପିତ ବିଭବ ହେବ V ଯୁକ୍ତ ମିଳନସ୍ଥଳର ପ୍ରତି ପାଖରେ P ଓ n ଅଞ୍ଚଳରେ IR ହ୍ରାସ ।

ମିଳନସ୍ଥଳଟି ପ୍ରସ୍ତବିତ ହେଉ ବା ନହେଉ, ସ୍ରୋତ $c_1\, e^{-E_p/kT}$ ଓ $c_4\, e^{-(E_g-E_n)/kT}$ ଅପ୍ରଭାବିତ ହୋଇ ରହିବେ କାରଣ ଏମାନେ ଉପଯୁକ୍ତ ପରିବାହକ ସାନ୍ଦ୍ରତା ଉପରେ କେବଳ ନିର୍ଭର କରନ୍ତି । ତେବେ, nରୁ pକୁ ଯିବାରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଓ pରୁ n ବସ୍ତୁକୁ ଯିବା ଗର୍ତ୍ତମାନଙ୍କ ପାଇଁ ପ୍ରାଚୀର $\triangle E-Ve$ ହୁଏ (ମନେ ପକାଅ, ଅଗୁଆ ପ୍ରସ୍ତବ ପାଇଁ V ଯୁକ୍ତ ଓ ବିପରୀତ ପ୍ରସ୍ତବ ପାଇଁ ଏହା ବିଯୁକ୍ତ) । ମିଳନ ସ୍ଥଳରେ ପରିଣାମୀ ସ୍ରୋତ ହେବ

$$I=c_2\, e^{-(\triangle E-Ve)/kT}-c_1\, e^{-E_p/kT}+c_3\, e^{-(\triangle E-Ve)/kT}$$

$$-c_4^{-(E_gE_n)/kT}$$

$$=(I_{oe}+J_{ch})\,(e^{Ve/k}-1)$$

$$=I_o\,(e^{Ve/kT}-1) \qquad (୨୩.୧୮)$$

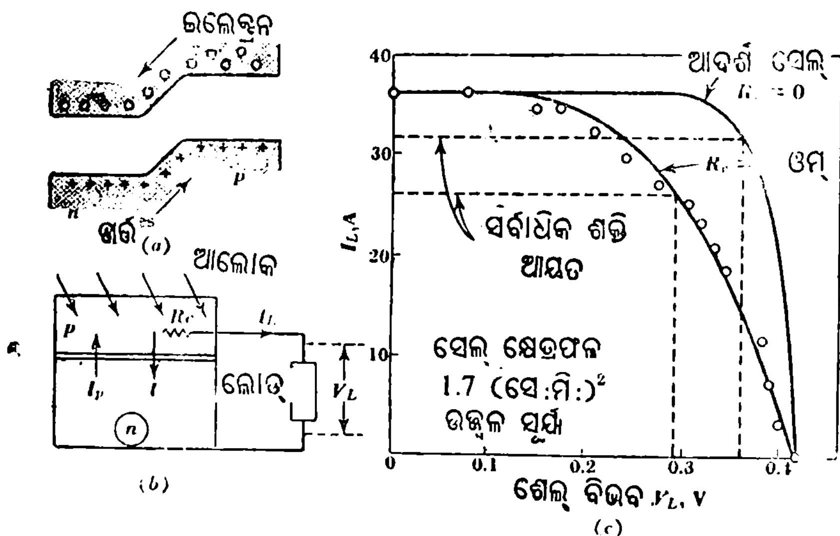
ଏଠାରେ $I_o=I_{oe}+I_{ob}$ । ମିଳନ ସ୍ଥଳର ସ୍ରୋତବିଭବ ଧର୍ମାନୁରେଖ ଚିତ୍ର ୨୩.୯୮ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି; ଏହା $p-n$ ମିଳନସ୍ଥଳର ବିଶେଷ ଭାବେ ରେକ୍ଟିଫାଇ କରିବାର ଗୁଣ ଦେଖାଉଅଛି । ଅଗୁଆ ପ୍ରସ୍ତବ ବଢ଼ିଲେ ସ୍ରୋତ ହଠାତ୍ ବଢ଼ିଯାଏ; କିନ୍ତୁ ବିଯୁକ୍ତ ପ୍ରସ୍ତବ ବଢ଼ିଲେ । I_oର ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ ହୋଇଥାଏ (ଅଧିକ ବିଯୁକ୍ତ ପ୍ରସ୍ତବବେଳେ, ଯେତେବେଳେ ଚରବାହକମାନେ ବାଧା ପ୍ରାପ୍ତ ହୋଇ ଅଧିକା ପରିବାହକ ସୃଷ୍ଟି କରିବାକୁ କ୍ଷମ ହୁଅନ୍ତି, ସେତେବେଳେ ସ୍ଖଳନ ଘଟିଥାଏ) ।

$p-n$ ମିଳନ ସ୍ଥଳର କେବଳ ଯେ କୌତୂହଳପ୍ରଦ ସ୍ରୋତ-ବିଭବ ସମ୍ପର୍କ ଥାଏ, ତା ନୁହେଁ, ଏହାର କେତେକ ଘଟଣାରେ ଧାରକତ୍ୱ ଗୁଣ ମଧ୍ୟ ଥାଏ ।

ଅନୁ: ୨୩.୭ରେ ଆମେ ଦେଖିଥାଉ ଯେ, ମିଳନସ୍ଥଳରେ ଅଳ୍ପ ଦୂର ତା ମଧ୍ୟରେ ପରିବାହକମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା କମିଯାଇଥାଏ । ତେଣୁ ଏହାର ଗୋଟିଏ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଧାରକତ୍ୱର ଗୁଣ ଥାଏ । ପ୍ରତି ଏକକ କ୍ଷେତ୍ରଫଳ ପାଇଁ ଏହାର ପରିମାଣ $c_A = k\epsilon_0/w$, ଏଠାରେ k ହେଲା ସ୍ଥିତିକର ପାରକ ଧ୍ରୁବ ଓ w ହେଲା ମିଳନସ୍ଥଳର ଚଉଡ଼ା । ବିପରୀତ ପ୍ରଭାବରେ ମିଳନସ୍ଥଳର ଚଉଡ଼ା ବଢ଼ିଯାଏ, ତେଣୁ ମିଳନସ୍ଥଳର ଧାରକତ୍ୱ କମିଯାଏ ।

23.8 ଆଲୋକ ଭୋଲ୍‌ଟୀୟ ପ୍ରଭାବ :

ଯେତେବେଳେ p-n ମିଳନସ୍ଥଳରେ ଫୋଟନ ସବୁ ପଡ଼ିତ ହୁଏ, ଫୋଟନ ଶକ୍ତି E_gରୁ ଅଧିକ ହେଲେ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଭାଲେନ୍ସି ବ୍ୟାଣ୍ଡରୁ ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡକୁ ଯାଏ (E_g=ଫାଙ୍କାର ଶକ୍ତି) । ଏହିପରି ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଓ ଗର୍ତ୍ତ, ଅଧିକା ପରିବାହକ ସବୁ ଫୋଟନମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ମିଳିଥାଏ; ଚିତ୍ର ୨୩.୧୦କ ରେ ଫୋଟନମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ସୃଷ୍ଟ ଏହି



[ଚିତ୍ର ୨୩.୧୦ (କ) p-n ମିଳନସ୍ଥଳ ନିକଟରେ ଫୋଟନମାନଙ୍କର ଶୋଷଣ ଦ୍ୱାରା ସଂଖ୍ୟାଲଘୁ ପରିବାହକର ପ୍ରବାହ (ଖ) ଗୋଟିଏ ଆଲୋକ ଭୋଲ୍‌ଟୀୟ emf ଥାଇ ଗୋଟିଏ କୁଣ୍ଡଳୀର ରେଖାଚିତ୍ର(ଗ) (ଖ)ର କୁଣ୍ଡଳୀରେ ଆଲୋକ ଭୋଲ୍‌ଟୀୟ ସେଲ୍‌ରୁ ପ୍ରାପ୍ତ ବିଭବ ତାରତମ୍ୟ V_Lର ଫଳନ ଭାବରେ କୁଣ୍ଡଳୀରେ ଥିବା ସ୍ରୋତ I_L]

ଅଧିକା ପରିବାହକ ସବୁ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । n ଅଞ୍ଚଳର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ କେତେକ p ଅଞ୍ଚଳକୁ ବିସ୍ତାରିତ ହେବାପାଇଁ ଯଥେଷ୍ଟ ଶକ୍ତି ଲାଭ କରିଥାନ୍ତି; କିନ୍ତୁ ମିଳନ ସ୍ଥଳର ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ର ଫଳରେ n ପଟକୁ ତଡ଼ି ହୋଇ ଯାଆନ୍ତି; ସେହିପରି ଗର୍ତ୍ତଗୁଡ଼ିକ p ପଟକୁ ତଡ଼ି ହୋଇଯାଆନ୍ତି । ତେଣୁ ଫୋଟନଗୁଡ଼ିକ ସଂଖ୍ୟାଲଘୁ-ପରିବାହକ ସାନ୍ଦ୍ରତା ସବୁ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ଭାବରେ p n ଉଭୟ ଅଞ୍ଚଳରେ ବଢ଼ାଇ ଦିଅନ୍ତି ଏବଂ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ଭାବରେ ଅଧିକ ସଂଖ୍ୟା ଲଘୁ-ପରିବାହକ ମିଳନସ୍ଥଳ ଦେଇ ଅନ୍ୟ ପଟକୁ ଯାଇଥାଏ ।

ଯେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ p-n ମିଳନ ସ୍ଥଳ $|V_r|>>kT$ ଦ୍ୱାରା ବିପରୀତ-ପ୍ରଭାବିତ ହୁଏ ଓ ଅନ୍ଧକାରରେ ରଖାଯାଏ, ପରିଣାମୀ ବିପରୀତ ସ୍ରୋତ ସମୀକରଣ (୨୩.୧୪) ଦ୍ୱାରା $I_R = I_0(1-e^{-|V_r|/kT}) \simeq I_0$ ରୂପେ ପ୍ରକାଶିତ ହୁଏ, ଏଠାରେ I_0କୁ ଏପରି ବ୍ୟବହାରବେଳେ ଅନ୍ଧାରସ୍ରୋତ ବୋଲି କୁହାଯାଏ । ଯେତେବେଳେ ମିଳନସ୍ଥଳଟି ଆଲୋକିତ ହୁଏ, ଫୋଟନମାନେ ନୂଆ ପରିବାହକ ସୃଷ୍ଟି କରନ୍ତି । ଏହା I_p ପରିମାଣରେ ବିପରୀତ ସ୍ରୋତକୁ ବଢ଼ାଇ ଦେଇଥାଏ, ତେଣୁ ଆଲୋକର ଉପସ୍ଥିତିରେ ବିପରୀତ ସ୍ରୋତ ହେଲା I_0+I_p । ମିଳନସ୍ଥଳକୁ ଥଣ୍ଡା କରି $I_0<<I_p$ କରାଯାଇପାରିବ । ଏଥିରୁ ମିଳୁଥିବା ଫଟୋଡାୟୋଡ଼ ଫୋଟନମାନଙ୍କର ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛକୁ ଖୋଜିବା ଓ ମାପ କରିବା ପାଇଁ ଏକ ସୂକ୍ଷ୍ମ ଯନ୍ତ୍ର । ଉପଯୁକ୍ତ ଭାବରେ ନିର୍ମିତ ଫଟୋଡାୟୋଡ଼୍ ସବୁ ଉଚ୍ଚ-ଶକ୍ତି ସ୍ୱର୍ଜ କଣିକା-ମାନଙ୍କର, ଏକ୍ସରେ ଓ ଗାମାରେଖାମାନଙ୍କର, ତାହାଙ୍କୁ ଲାଲ ପୂର୍ବ ଓ ଦୃଶ୍ୟମାନ ବିକିରଣର ବହୁ ଦରକାରୀ ଠାବକ । ବହୁ ଲାଲ-ପୂର୍ବ ଅଞ୍ଚଳକୁ ଖୋଜିବା ପାଇଁ ଅଳ୍ପ ଶକ୍ତି ଫାଙ୍କ ଥିବା InSb ପରି ଗୋଟିଏ ମୂଳବସ୍ତୁ ଦରକାର ହୋଇଥାଏ, କାରଣ ଫାଙ୍କରେ ଶକ୍ତି ଫୋଟନ ଶକ୍ତିଠାରୁ କମ୍ ହେବା ଦରକାର ।

ଗୋଟିଏ ଆଲୋକିତ p-n ମିଳନ ସ୍ଥଳରେ କୌଣସି ବାହ୍ୟ ବିଭବ ତାରତମ୍ୟ ପ୍ରୟୋଗ ନକରାଗଲାବେଳେ ଫୋଟନ-ଆବେଶିତ ଗର୍ତ୍ତ ସ୍ଥାନାନ୍ତରଣ ଫଳରେ ପ୍ରାଚୀର ସ୍ତରର ଦୁଇପାଖ ମଧ୍ୟରେ V_p ଆଲୋକ ଭୋଲ୍ଟ ସୃଷ୍ଟି ହୁଏ । ଏତେବେଳେ n ଅଞ୍ଚଳ ବିଯୁକ୍ତ ଓ p ଅଞ୍ଚଳ ଯୁକ୍ତ ରହିଥାଏ । ଆମେ ଆଲୋକ ଭୋଲ୍ଟୀୟ emfକୁ I_p ଓ I_0ରେ ନିମ୍ନ ପ୍ରକାରରେ ପ୍ରକାଶ କରିପାରିବା । କୌଣସି ବାହ୍ୟ କୁଣ୍ଡଳୀ ନଥାଇ ଥରେ ସ୍ଥିତିକ

ମଧ୍ୟରେ ସାମ୍ୟାବସ୍ଥା ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଗଲେ, V_p ଲାଗି ଘଟିଥିବା ଅଗୁଆ ସ୍ରୋତ ଆଲୋକ ପ୍ରେରିତ I_pକୁ ଠିକ୍ ସମତୁଳ କରିବ, ତେଣୁ

$$0 = I_o\,(e^{V_p e/kT} - 1) I_p;$$ ଏଥିରୁ ମିଳେ

$$V_p = \frac{kT}{e}\ ln\left(\frac{I_p}{I_o} + 1\right) \qquad (୨୩.୧୫)$$

ଯେତେବେଳେ $I_p >> I_o$, ଆଲୋକ ସେଲ୍‌ଟିର emf ଆଲୋକସ୍ରୋତ I_pର ଲୋଗାରିଥମ୍‌କୁ ଅନୁପାତୀ ହୁଏ, ସେଲ୍ ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ଉପଯୁକ୍ତ ପ୍ରତିକ୍ରିୟାକୁ ଆଲୋକ ମାପକ ଭାବରେ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଏ ।

ଆଲୋକ ସେଲ ଟିର ପ୍ରଭାବର ଗୋଟିଏ ପ୍ରଧାନ ବ୍ୟବହାର ସୌର ସେଲ୍‌ରେ ଦେଖାଯାଏ । ଏହା ସୂର୍ଯ୍ୟର ବିକିରଣ ଶକ୍ତିକୁ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଶକ୍ତିରେ ପରିଣତ କରିଥାଏ । ସୌର ବିକିରଣ ରେଖା ଅବଚ୍ଛିନ୍ନ, ଏହାର ଦୃଶ୍ୟମାନ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମର ନୀଳ ଅଂଶରେ ସର୍ବାଧିକ ଅଂଶ ରହିଅଛି । ଏହି ଅଂଶ ଫୋଟନ ଶକ୍ତି $2{\cdot}5eV$ର ଅନୁରୂପ । $p-n$ ମିଳନସ୍ଥଳ ଦ୍ୱାରା ସୌର ବିକିରଣକୁ ରୂପାନ୍ତର କରିବାପାଇଁ $1{\cdot}0$ରୁ $1{\cdot}5eV$ ଶକ୍ତି ଫାଙ୍କା ଦରକାର । $E_g = 1{\cdot}1eV$ ଥିବା ସିଲିକନ ବହୁ କ୍ଷେତ୍ରରେ ସୌର ସେଲ୍‌ମାନଙ୍କରେ ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇଥାଏ । ଯେହେତୁ ମିଳନସ୍ଥଳର ଦୂରରେ ଉତ୍ପନ୍ନ ହେଉଥିବା ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଓ ଗର୍ତ୍ତଗୁଡ଼ିକ ସାଧାରଣତଃ ପୁନଃମିଳିତ ହୋଇଥାନ୍ତି, ଗୋଟିଏ ସିଲିକନ ସୌର ସେଲ୍‌ର ମିଳନସ୍ଥଳ ପୃଷ୍ଠତଳର ଅତି ନିକଟରେ ହେବା ଦରକାର; ସାଧାରଣତଃ ପ୍ରାୟ 1μ ବେଧ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ p – ସ୍ତର ପୃଷ୍ଠତଳରେ ତିଆରି ହୋଇଥାଏ । ଏହା ପରେ ଲେନ୍‌ସରେ ହେବା ପରି ଗୋଟିଏ ଅଣପ୍ରତିଫଳନ ଲେପଦ୍ୱାରା ଘୋଡ଼ାଇ ଦିଆଯାଇଥାଏ ।

ଯେତେବେଳେ କୌଣସି ଗୋଟିଏ ଭାରକୁ (ଚିତ୍ର ୨୩.୧୦ଖ) ପାଓ୍ୱାର ଯୋଗାଇବା ପାଇଁ ସୌର ସେଲ୍ ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇଥାଏ, ଆଲୋକ ସମ୍ଭବ ସ୍ରୋତ I_p, ଭାରସ୍ରୋତ I_L ଯୁକ୍ତ ଅରୋପିତ ବିଭବ ତାରତମ୍ୟ V ଲାଗି ହେଉଥିବା ଅଗୁଆ ସ୍ରୋତ ସହିତ ସମାନ ହୋଇଥାଏ ।

$$I_p = I_L + I_o\,(e^{Ve/kT} - 1) \qquad (୨୩.୧୬)$$

ଭିତର ମଧ୍ୟଦେଇ ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଥିବା ଭୋଲ୍ଟେଜ V_L ହେଲା ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଥିବା ବିଭବ ତାରତମ୍ୟ ବିଯୁକ୍ତ ବିଭବ ହ୍ରାସ $T_L R_c$, ଏଠାରେ R_c ହେଉଛି ସୌର ସେଲ୍‌ର ପ୍ରତିରୋଧ । ଏହାର ପ୍ରାୟ ସମସ୍ତ ପରିମାଣ ପାତଳ p ସ୍ତର ଲାଗି ହୋଇଥାଏ । ସମୀକରଣ (୨୩.୧୭) ସଙ୍ଗେ $V_L = V - I_L R_c$ କୁ ମିଶାଇଲେ

$$V_L = \frac{kT}{e}\ ln\left(\frac{I_p - I_L}{I_o} - 1\right) - I_L R_c \qquad (୨୩.୧୭$$

ମନ୍ଦଥାଏ । ଗୋଟିଏ $1{\cdot}7cm^2$ ଓ $R_c = 4\Omega$ ସୌର ସେଲ୍ ପାଇଁ ଭୋଲ୍ଟେଜ-କରେଣ୍ଟ ରେଖା ଚିତ୍ର ୨୩.୧୦ଗ ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଗୋଟିଏ ଉତ୍ତମ ସିଲିକନ ସୌର ସେଲ୍‌ର କାର୍ଯ୍ୟକାରିତା ପ୍ରାୟ ଶତକଡ଼ା 15 ହୋଇପାରେ (କାର୍ଯ୍ୟକାରିତା ଅର୍ଥ ଭାର ପାଇଁ ଦେଉଥିବା ବୈଦ୍ୟୁତିକ ପାୱାରର ମୋଟ ଅପତିତ ସୌର ପାୱାର ସହ ଅନୁପାତ) ।

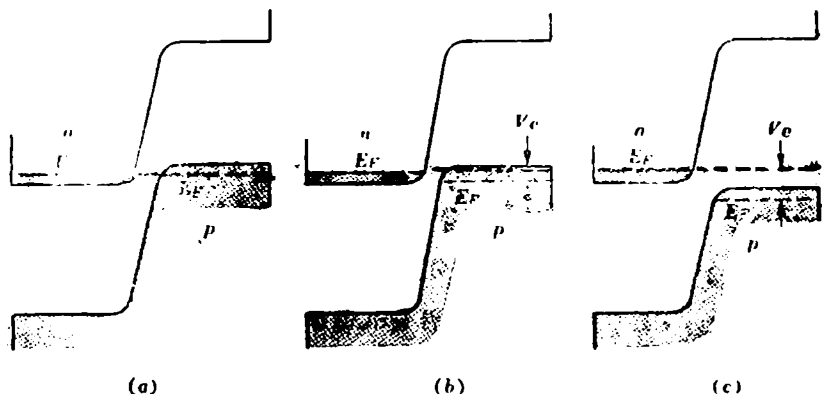
23·9 ସୁଡ଼ଙ୍ଗ (ବା ଇଜାକି) ଡାୟୋଡ୍ :

ଯେତେବେଳେ ମିଳନସ୍ଥଳଗୁଡ଼ିକରେ ବହୁ ପରିମାଣରେ ଖାଦ ଥାଏ ($\geqslant 10^{25}$ $atoms/m^3$), ଦାତା ଓ ଗ୍ରହୀତା ସ୍ତରସବୁ ଆଉ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ମିଳେନାହିଁ; କିନ୍ତୁ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ଗୁଡ଼ିକରେ ବିସ୍ତାରିତ ହୋଇଯାଏ । ଏହା ଭାଲେନ୍ସି ଓ ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡଗୁଡ଼ିକ ଉପରକୁ ମାଡ଼ିଯାଏ (ଚିତ୍ର ୨୩.୧୧କ) । n ପାଖରେ ଫର୍ମିସ୍ତର ପରିବହନ ବ୍ୟାଣ୍ଡ ମଧ୍ୟକୁ ଚାଲିଯାଏ ଓ p ଅଞ୍ଚଳର ଫର୍ମିସ୍ତର ଭାଲେନ୍ସି ବ୍ୟାଣ୍ଡ ମଧ୍ୟକୁ ଘୁଞ୍ଚିଯାଏ । ଆଉ ମଧ୍ୟ, ମିଳନ ସ୍ଥଳର ଚଉଡ଼ା ବହୁତ ସଙ୍କୀର୍ଣ୍ଣ ହୋଇଯାଏ ($\approx 100A^\circ$), ତେଣୁ ଏହି ସାଧାରଣ ତଳରେ ପ୍ରାଚୀର ମଧ୍ୟ ଦେଇ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀୟ ସୁଡ଼ଙ୍ଗ ହୋଇପାରେ । ସୁଡ଼ଙ୍ଗର ସ୍ରୋତ ସୂକ୍ଷ୍ମ ଭାବରେ ଏହି ମିଳନସ୍ଥଳର ଚଉଡ଼ା ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିଥାଏ ।

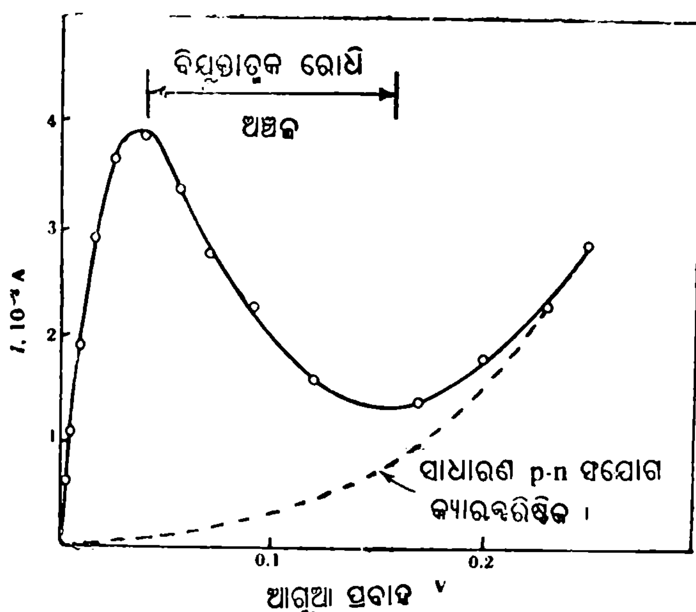
ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ପ୍ରାଚୀର ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଦୁଇଦିଗକୁ ସୁଡ଼ଙ୍ଗ କରି ଯାଉଥିବା ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ସମାନ ହୋଇଥାଏ । ଗୋଟିଏ ସ୍ୱଳ୍ପ ଅଗ୍ରଗାମୀ ବାୟସ୍ ପାଇଁ (ଚିତ୍ର ୨୩.୧୧ଖ) nରୁ p ପଟକୁ ସୁଡ଼ଙ୍ଗ କରି ଯାଉଥିବା ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ବହୁ ପରିମାଣରେ ବଢ଼ିଯାଏ, କାରଣ ସେମାନେ ସ୍ଥାନାନ୍ତର ହେଉଥିବା ଶୂନ୍ୟ ଅବସ୍ଥା-ଗୁଡ଼ିକର ସଂଖ୍ୟା ବେଶୀ ଥାଏ; ତାଙ୍କ ସଙ୍ଗେ ବିପରୀତ ଦିଗରେ ସୁଡ଼ଙ୍ଗ କରୁଥିବା କମି

ଯାଇଥାଏ । ତେବେ, ଆଗୁଆ ବାୟସ ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ, ଯେଉଁ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକୁ ସୁଡ଼ଙ୍ଗ କରି ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ସ୍ଥାନାନ୍ତରିତ ହୋଇ ପାରନ୍ତେ, ସେଗୁଡ଼ିକ କମିଯାଏ ଏବଂ ଶୀଘ୍ର ଲୋପେଇ ଯାଇଥାଏ (ଚିତ୍ର ୧୩.୧୧ଗ) । Vକୁ ଅଧିକ ବଢ଼ାଇଲେ, ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ଲାଗି ଆଗୁଆସ୍ରୋତ ମିଳିଥାଏ । ବିଭବ ପ୍ରାଚୀର ଉପରେ ଯିବାପାଇଁ ଏମାନଙ୍କର ଯଥେଷ୍ଟ ଶକ୍ତି ରହିଥାଏ । ଏମାନଙ୍କ ପାଇଁ ସମୀକରଣ (୧୩.୧୪) ଲାଗୁ ହୋଇଥାଏ ।

ଏଥିରୁ ମିଳୁଥିବା ସୁଡ଼ଙ୍ଗ ଡାୟୋଡ଼୍‌ର ସ୍ରୋତ-ଭୋଲ୍‌ଟ ରେଖା ଚିତ୍ର ୧୩.୧୨ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ସର୍ବାଧିକ ଅଂଶ (ଶୃଙ୍ଗ) ଓ ସର୍ବନିମ୍ନ ଅଂଶ ମଧ୍ୟବର୍ତ୍ତୀ ଅଞ୍ଚଳରେ, ରେଖାର ନତି ବିଯୁକ୍ତ ଏବଂ ଡାୟୋଡ଼୍‌ର ବିଯୁକ୍ତ ଗତିଶୀଳ ପ୍ରତିରୋଧ $\frac{dI}{dV}$ ହୋଇଥାଏ । ଏପରି ବିଯୁକ୍ତ ପ୍ରତିରୋଧ ଗୋଟିଏ ବହୁ ପରିମାଣରେ ଦରକାରୀ ଗୁଣ । ଉପାଦାନମାନଙ୍କୁ ଉପଯୁକ୍ତ ଭାବରେ ବାଛି କୌଣସି ଗତିଶୀଳ ପ୍ରତିରୋଧ ନଥିବା କୁଣ୍ଡଳୀ ଉତ୍ପନ୍ନ କରିବା ସମ୍ଭବ । ଗୋଟିଏ ପ୍ରେରକ, ଗୋଟିଏ ଧାରକ ଓ ଗୋଟିଏ ବାୟସଦିଆ ସୁଡ଼ଙ୍ଗ ଡାୟୋଡ଼ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇଥିବା ଗୋଟିଏ କୁଣ୍ଡଳୀ ଗୋଟିଏ ସରଳ ଦୋଳକ ଗଠନ କରିପାରେ । ଏଥିରେ $10^{11} Hz$ ଉଚ୍ଚ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ସ୍ପନ୍ଦନ ସୃଷ୍ଟି କରାଯାଇପାରେ ।



[ଚିତ୍ର ୧୩.୧୧ ଗୋଟିଏ ସୁଡ଼ଙ୍ଗ ବା ଇଜାକି ଡାୟୋଡ଼୍ (କ) ବାୟସ ନଥାଇ ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ (ଖ) ଗୋଟିଏ ଛୋଟ ଆଗୁଆ ବାୟସ୍ ଥାଇ ($\simeq 0{\cdot}05V$ ଚିତ୍ର ୧୩.୧୨ରେ) ଓ (ଗ) ଗୋଟିଏ ବଡ଼ ଆଗୁଆ ବାୟସ୍ ଥାଇ($\simeq 0{\cdot}2V$ ଚିତ୍ର ୧୩.୧୨ରେ]

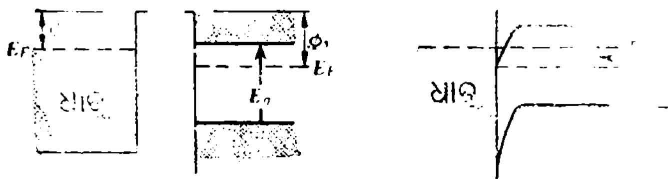


[ଚିତ୍ର ୨୩.୧୨ ଗୋଟିଏ ସୁଡ଼ଙ୍ଗ ଡାୟୋଡ଼୍ ପାଇଁ ଆରୋପିତ ବିଭବ ବାୟସ୍‌ର ଫଳନ ସ୍ୱରୂପରେ ସ୍ରୋତ]

23·10 ଧାତବ-ଅର୍ଦ୍ଧ ପରିବାହୀ ମିଳନ ସ୍ଥଳ :

ଯେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ ଅର୍ଦ୍ଧପରିବାହୀ ସ୍ଫଟିକ ସହିତ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ସଂଯୋଗ କରାଯାଏ, ସଂଯୋଗସ୍ଥଳଟି ଗୋଟିଏ ରେକ୍ଟିଫାୟର ପରି କାର୍ଯ୍ୟ କରିପାରେ ବା ଗୋଟିଏ ଓହ୍ମୀୟ ସଂଯୋଗ ପରି କାର୍ଯ୍ୟ କରିପାରେ । ଏହା ସେଥିରେ ସଂପୃକ୍ତ ବସ୍ତୁମାନଙ୍କର ଫର୍ମିସ୍ତରମାନଙ୍କ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିଥାଏ । ଯଦି ସଂଯୋଗ ଗୋଟିଏ *n*-ପ୍ରକାରର ସ୍ଫଟିକ ସହିତ ହୁଏ, ଯେତେବେଳେ ଧାତୁର ଫର୍ମିସ୍ତର ଅର୍ଦ୍ଧପରିବାହୀର ଫର୍ମିସ୍ତର ଉପରେ ରହେ, ସେତେବେଳେ ସଂଯୋଗଟି ଓହ୍ମୀୟ ହୁଏ, ଗୋଟିଏ *p*-ପ୍ରକାରର ଅର୍ଦ୍ଧ-ପରିବାହୀର ସହିତ ସଂଯୋଗବେଳେ, ଯଦି ଧାତୁର ଫର୍ମିସ୍ତରର ତଳେ ରହେ, ତେବେ ସଂଯୋଗଟି ଓହ୍ମୀୟ ହୁଏ ଏବଂ ଯଦି ଏହା ଉପରେ ରହେ, ତେବେ ରେକ୍ଟିଫାୟର କାର୍ଯ୍ୟ ହୁଏ ।

ଗୋଟିଏ ଧାତୁ ଓ ଚିତ୍ର ୨୩.୧୩ର ଗୋଟିଏ n—ପ୍ରକାରର ଅର୍ଦ୍ଧ-ପରିବାହୀର ସଂଯୋଗ ବିଷୟ କର । ଯେତେବେଳେ ସଂଯୋଗ କରାଯାଏ, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଫର୍ମିସ୍ତର-ଗୁଡ଼ିକ ମିଳିତ ହେବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ପ୍ରବାହିତ ହେବ, ଏହା ଫଳରେ ଅର୍ଦ୍ଧପରିବାହୀକୁ ବିଯୁକ୍ତ ସ୍ତରରେ ପୂର୍ଣ୍ଣ କରିବ ଓ ଅଧିକା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ମିଳନସ୍ଥଳର ଅର୍ଦ୍ଧପରିବାହୀପଟେ ପ୍ରୁଡ଼ିଯିବ । ଯେତେବେଳେ ଦୁଇଟିକୁ ଯେକୌଣସି ଦିଗରେ ବିଭବ ତାରତମ୍ୟ ପ୍ରୟୋଗ କରାଯିବ. ମିଳନସ୍ଥଳଠାରେ ଯେକୌଣସି ଦିଗରେ ସ୍ରୋତ ହେବାପାଇଁ ଯଥେଷ୍ଟ ପରିବାହକ ରହିଥିବେ ଏବଂ ସ୍ରୋତ ଆରୋପିତ ବିଭବ ତାରତମ୍ୟକୁ ଅନୁପାତୀ ହେବ । ମିଳନସ୍ଥଳଟି ଓହ୍ମୀୟ ହେବ ।



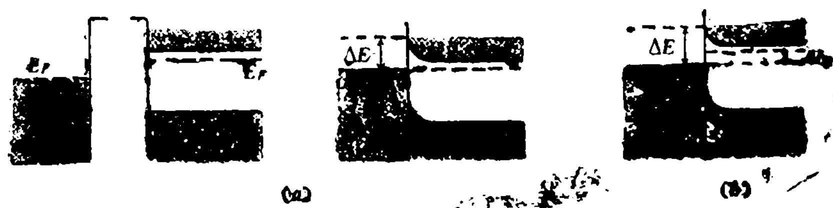
[ଚିତ୍ର ୨୩.୧୩ ଗୋଟିଏ ଧାତୁ ଓ ଗୋଟିଏ n—ପ୍ରକାରର ଅର୍ଦ୍ଧ ପରିବାହୀ ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ଓହ୍ମୀୟ ମିଳନ ସ୍ଥଳ; I ମିଳନସ୍ଥଳଠାରେ ମିଳନସ୍ଥଳର ଉଭୟପାଖରେ ପରିବାହକମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ବଢ଼ୁଛି]

ଯଦି ଧାତୁଟିରେ ଫର୍ମିସ୍ତର n—ପ୍ରକାରର ଅର୍ଦ୍ଧପରିବାହୀର ଫର୍ମିସ୍ତର ତୁଳନାରେ (ଚିତ୍ର ୨୩.୧୪କ) ତଳକୁ ରହେ, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଅର୍ଦ୍ଧପରିବାହୀରୁ ଧାତୁକୁ ଯାଏ, ଏହା ଫଳରେ ଆୟନୀଭୂତ ଦାତାମାନଙ୍କର ଗୋଟିଏ ଯୁକ୍ତ ଦ୍ୱୀପ ସ୍ତର ଉତ୍ପନ୍ନ ହୋଇ-ଥାଏ । ଯେତେବେଳେ ସାମ୍ୟାବସ୍ଥା ମିଳେ, ଧାତବ ପୃଷ୍ଠତଳରେ ବିଯୁକ୍ତ ପୂର୍ଣ୍ଣ ହେଉ ଓ ଧାତୁର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକର $E_F+\Delta E$ରୁ ଅଧିକ ହେଲେ ଏହା ଅର୍ଦ୍ଧପରିବାହୀ ମଧ୍ୟରେ ବସାଇତ ହୋଇଥାଏ । ଯେଉଁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରାଚୀରକୁ ଡେଇଁପାରେ, ସେଗୁଡ଼ିକର ସଂଖ୍ୟା ଅର୍ଦ୍ଧପରିବାହୀରୁ ଧାତୁକୁ ସ୍ଥାନାନ୍ତରିତ ହେଉଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ସଂଖ୍ୟା ସହ ଠିକ୍ ସମାନ । ଦୁଇ ଦିଗରେ ସ୍ରୋତ (ପ୍ରତ୍ୟେକର ପରିମାଣ I_0) $e^{-\Delta E/kT}$କୁ

ଅନୁପାତୀ । ଯେତେବେଳେ ମିଳନସ୍ଥଳର ଭୋଲ୍ଟ ପ୍ରୟୋଗ କରାଯାଏ, ଏହା ଧାତବ ପଟର ପ୍ରାଚୀରର ଉଚ୍ଚତା ଉପରେ କୌଣସି ପ୍ରଭାବ ପକାଏ ନାହିଁ; ଏହି ଉଚ୍ଚତା ଧାତୁର ଓ ଅର୍ଦ୍ଧ ପରିବାହୀର ଧର୍ମ ଉପରେ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣରୂପେ ନିର୍ଭର କରେ । ବ୍ୟାପ ସ୍ତର ପରିବହନଶୀଳତା କମାଇ ଦେଉଥିବାରୁ ଭୋଲ୍ଟେଜ ତାରତମ୍ୟ ଅଧିକ ଭାଗ ଏହା ମଧ୍ୟ ଦେଇ ହୋଇଥାଏ । ଆଗୁଆ ବାୟସ୍ ପାଇଁ (n ବସ୍ତୁ ଋଣଯୁକ୍ତ) ଫର୍ମି ସ୍ତର ଧାତୁରେ ଏହି ସ୍ତର ତୁଳନାରେ ଉଠିଯାଏ (ଚିତ୍ର ୨୩.୧୪ଖ) ଏବଂ ଅର୍ଦ୍ଧପରିବାହୀରୁ ଧାତୁକୁ ଯାଉଥିବା ଇଲେକଟ୍ରନମାନଙ୍କ ସହ ସମ୍ପୃକ୍ତ ସ୍ରୋତ $e^{Ve/kT}$ ଗୁଣକ ଦ୍ୱାରା ବଢ଼ିଯାଇଥାଏ । ଏହା ଫଳରେ, ଆଗୁଆ ସ୍ରୋତ ହୁଏ,

$$I = I_0 \left(e^{Ve/kT} - 1\right) \qquad (୨୩.୧୮)$$

ବିପରୀତ ବାୟସ୍ ପାଇଁ ସମୀକରଣ (୨୩.୧୮) ଏବେ ମଧ୍ୟ ପ୍ରଯୁଜ୍ୟ ହୁଏ; V ସେତେବେଳେ ଋଣଯୁକ୍ତ ହୁଏ । ତେଣୁ ମିଳନସ୍ଥଳର ସ୍ରୋତ $p-n$ ମିଳନସ୍ଥଳର ସ୍ରୋତ ପାଇଁ ପ୍ରଯୁଜ୍ୟ ସମୀକରଣ ଅନୁସାରେ କାର୍ଯ୍ୟ କରିଥାଏ ।



[ଚିତ୍ର ୨୩.୧୪ (କ) ଗୋଟିଏ ଧାତୁ ଓ ଗୋଟିଏ n—ପ୍ରକାରର ଅର୍ଦ୍ଧପରିବାହୀ ମଧ୍ୟରେ ରେକ୍ଟିଫାଇ କରୁଥିବା ମିଳନସ୍ଥଳ (ଖ) (କ)ରେ ଦିଆଯାଇଥିବା ମିଳନସ୍ଥଳରେ ଆଗୁଆ ବାୟସ ପ୍ରୟୋଗ କରିବାବେଳେ]

ଯେତେବେଳେ p— ପ୍ରକାରର ସ୍ଫଟିକ ସଙ୍ଗେ ଧାତବ ସଂଯୋଗ କରାଯାଏ, ଅର୍ଦ୍ଧ-ପରିବାହୀ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରଧାନତଃ ଗର୍ତ୍ତମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ହୋଇଥାଏ । ଯଦି ଧାତୁଟିର ଫର୍ମିସ୍ତର ଅର୍ଦ୍ଧପରିବାହୀର ଫର୍ମିସ୍ତର ଉପରକୁ ରହେ, ଧାତୁରୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ମିଳନସ୍ଥଳର

ଗର୍ତ୍ତଗୁଡ଼ିକୁ ପୂରଣ କରିବେ ଓ ଗୋଟିଏ ରେକ୍ଟିଫାଇ କରୁଥିବା ହ୍ରାସସ୍ତର ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଥାଏ । ସେତେବେଳେ ଜର୍ମାନ୍ସ୍ତର ଧାତୁ ମଧ୍ୟରେ ତଳକୁ ରହିଯାଏ, ଅର୍ଦ୍ଧପରିବାହୀରୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଧାତୁ ମଧ୍ୟକୁ ଯାଏ । ଏହାଦ୍ୱାରା ମିଳନସ୍ଥଳରେ ଅଧିକା ପରିବାହିତ ସୃଷ୍ଟି ହୁଏ । ଏହା ସେତେବେଳେ ଓହ୍ମୀୟ ହୋଇଥାଏ ।

23·11 ତାପ ବିଦ୍ୟୁତ :

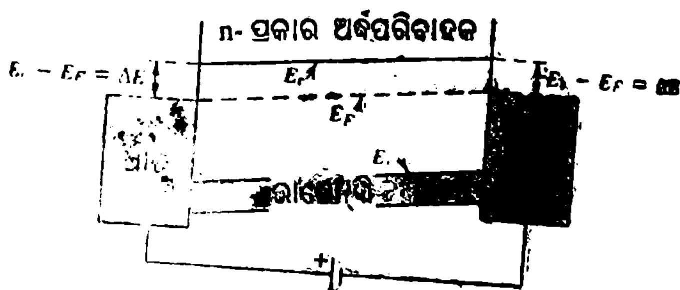
ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ପରିବାହକ ମଧ୍ୟରେ ମିଳନସ୍ଥଳ ନେଇ ସେତେବେଳେ କୌଣସି ସ୍ରୋତ ପ୍ରବାହିତ ହୋଇଥାଏ, ମିଳନସ୍ଥଳରେ ତାପ ହୁଏତ ଉତ୍ପନ୍ନ ହୋଇଥାଏ ବା ଶୋଷିତ ହୋଇଥାଏ (ଏହା ଉତ୍ପନ୍ନ ହେଉଥିବା ଜୋଲ୍ ତାପ ଠାରୁ ଅଧିକା ହୁଏ) । ଏହି ଘଟଣାକୁ ପେଲ୍ଟିୟର ପ୍ରଭାବ କୁହାଯାଏ । ଚାର୍ଜ q ବସ୍ତୁ aରୁ ବସ୍ତୁ bକୁ ଗଲାବେଳେ ଯେଉଁ ତାପଶକ୍ତି H ମିଳନସ୍ଥଳରୁ କାଢ଼ି ନିଆଯାଏ, ତା'ର ପରିମାଣ

$$H = \pi_{ab}\, q \tag{୨୩·୧୯}$$

ଏଠାରେ π_{ab} ହେଲା ପେଲ୍ଟିୟର *emf* (ବା ପେଲ୍ଟିୟର୍ଙ୍କ) ।

ଚିତ୍ର ୨୩·୧୧ରେ ଥିବା କୁଣ୍ଡଳୀଟି ବିଚାରକୁ ନିଅ । ଏଥି ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ n ପ୍ରକାରର ଅର୍ଦ୍ଧ ପରିବାହୀ ମଧ୍ୟ ଦେଇ ସ୍ରୋତ ପ୍ରବାହିତ ହେଲା । ଏଥିରେ ସେହି ଧାତୁ ଦ୍ୱାରା ଦୁଇ ମୁଣ୍ଡରେ ଓହ୍ମୀୟ ସଂଯୋଗ ହୋଇଅଛି (ଚିତ୍ର ୨୩·୧୩ରେ ଚିତ୍ରିତ ଏପରି କମ୍ ଦୂରତା ମଧ୍ୟରେ ଦୁଇ ମିଳନସ୍ଥଳରେ ରହିଅଛି ଯେ, ଏହା ଏହି ସ୍କେଲରେ ଦେଖା ଯାଇନାହିଁ) । ସ୍ରୋତର ଯେଉଁ ଦିଗ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି, ସେଥିପାଇଁ ତାହାଙ୍କରେ ଥିବା ମିଳନସ୍ଥଳଟି ଶୀତଳ ହେଉଅଛି (H ଯୁକ୍ତ) ଏବଂ ବାମକୁ ଥିବା ମିଳନସ୍ଥଳଟି ଗରମ ହେଉଅଛି (H ବିଯୁକ୍ତ) । ବାମ ପାଖର ସଂଯୋଗସ୍ଥଳରେ ଅର୍ଦ୍ଧପରିବାହୀରୁ ଧାତୁକୁ ଯାଉଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସବୁ ଧାତୁ ମଧ୍ୟରେ ଶକ୍ତି E_Fରୁ ଅଧିକ ଶକ୍ତିରେ ଧାତୁ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରବେଶ କରେ । ଏହି ଶକ୍ତି ଅତି ଶୀଘ୍ର ଧାତବ ଲାଟିସକୁ ସ୍ଥାନାନ୍ତରିତ ହୋଇଥାଏ ଓ ତାପ ଆକାରରେ ଦେଖାଯାଏ । ତାହାଙ୍କପାଖ ସଂଯୋଗସ୍ଥଳରେ $E_F + \Delta E_0$ରୁ ଅଧିକ ଶକ୍ତି ଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ କେବଳ ଅର୍ଦ୍ଧପରିବାହୀ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରବେଶ

କରିପାରେ । ଉଚ୍ଚତର ଶକ୍ତିସ୍ତରରେ ଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକୁ ଧାତୁ ଗ୍ରହଣ କରେ, କିନ୍ତୁ ନିମ୍ନତର ଶକ୍ତିସ୍ତରର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକୁ ଗ୍ରହଣ କରେ ନାହିଁ । ଏହା ଫଳରେ ହାରାହାରି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଶକ୍ତି କମିଯାଏ ଓ ମିଳନସ୍ଥଳଟି ଶୀତଳ ହୋଇଯାଏ ।



[ଚିତ୍ର ୨୩.୧୫ ଯେତେବେଳେ କୁଣ୍ଡଳୀରେ ଥିବା ଅର୍ଦ୍ଧପରିବାହୀ ମଧ୍ୟରେ ସ୍ରୋତ ଗତି କରେ, ତାହାର ଡାହାଣ ପଟର ମିଳନସ୍ଥଳ ଶୀତଳ ହୁଏ ଓ ବାମ ପାଖର ମିଳନସ୍ଥଳ ଗରମ ହୁଏ]

ବାମ ମିଳନସ୍ଥଳରେ (ଏହା ଗରମ ହୋଇଥାଏ), ସାଧାରଣ ବର୍ଣ୍ଣିତ ସ୍ରୋତ ଧାତୁରୁ ଅର୍ଦ୍ଧପରିବାହୀକୁ ଯାଇଥାଏ ଓ H ଯୁକ୍ତ ହୁଏ । ମୋଟାମୋଟି ଅର୍ଦ୍ଧପରିବାହୀ ମଧ୍ୟରେ $E_c + 2kT$ ସ୍ତରରୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଧାତୁ ମଧ୍ୟରେ E_Fକୁ ଖସିପଡ଼େ, ଏହି ତାପଶକ୍ତି ତାପ ଆକାରରେ ଦେଖାଦିଏ, ସମୀକରଣ (୨୩.୧୯) ଦ୍ୱାରା

$$\Pi_{m\to n} = -\Pi_{n\to m} = -\frac{E_c + 2kT - E_F}{e} \qquad (୨୩.୨୦)$$

ଏଠାରେ $e = +1.6\times10^{-19}\,c$ । ଏହି ଉକ୍ତିରେ $2kT$ ମିଳନ ସ୍ଥଳକୁ ଦେଇ ଯାଉଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ବହନ କରାଯାଏ । ପରିବହନ ବାଣ୍ଡରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ହାରାହାରି ଗତିଜ ଶକ୍ତି ହେଲା ପ୍ରାୟ $\frac{3}{2}kT$ (ଯଦି $E_c - E_F > 5kT$), କିନ୍ତୁ ଅଧିକ ଗତି ବିଶିଷ୍ଟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନେ ମିଳନସ୍ଥଳଟିକୁ ଡେଇଁଯିବାର ଅଧିକ ସମ୍ଭାବନା ଥାଏ । p

ପ୍ରକାରର ବସ୍ତୁ ପାଇଁ ଧାତୁରୁ ଅର୍ଦ୍ଧପରିବାହୀକୁ ସ୍ରୋତ ପାଇଁ π ହେବ ଯୁକ୍ତ ଓ
$\Pi_{m\to p} = -\Pi_{p\to m} = (E_F + 2kT - E_c)/e$ ।

ଧାତବ ଅର୍ଦ୍ଧପରିବାହୀ ମିଳନସ୍ଥଳମାନଙ୍କ ପାଇଁ ପେଲ୍ଟିୟରର emf ଗୁଣାଙ୍କ ସାଧାରଣତଃ ଧାତୁ-ଧାତୁ ମିଳନସ୍ଥଳ ଅପେକ୍ଷା ବହୁ ପରିମାଣରେ ଅଧିକ କାରଣ ପରିବାହକମାନଙ୍କର ହାରାହାରି ସ୍ଥିତିଜଶକ୍ତି ଅର୍ଦ୍ଧପରିବାହୀ ମଧ୍ୟରେ ଫର୍ମିଶକ୍ତି ତୁଳନାରେ ବହୁତ ବେଶୀ; କିନ୍ତୁ ଧାତୁମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଏହା ଅପସ୍ଥିତ ହୋଇଥାଏ । ଶୁଦ୍ଧମିଶା ଅର୍ଦ୍ଧପରିବାହୀମାନଙ୍କ ପାଇଁ ପେଲ୍ଟିୟର emf ମିଳନସ୍ଥଳର ତାପମାତ୍ରା ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିଥାଏ; ଏହା ଏହା କେବଳ $2kT$ ପଦଟି ଯୋଗି ହୋଇନଥାଏ, ଫାଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଫର୍ମିସ୍ତରର ଅବସ୍ଥାନ ତାପମାତ୍ରା ଉପରେ ନିର୍ଭର କରୁଥିବାରୁ ମଧ୍ୟ ହୋଇଥାଏ । p ଓ n ଅର୍ଦ୍ଧପରିବାହୀମାନଙ୍କୁ ସାବଧାନ ହୋଇ ବାଛି nକୁ ଧାତୁରୁ ଓ ତାପରେ pକୁ ସ୍ରୋତ ପଠାଇବା ସମ୍ଭବ ହୋଇଥାଏ । ଏହାଫଳରେ ଧାତୁରୁ ଉଭୟ ସଂଯୋଗସ୍ଥଳରେ ଶୀତଳ କରିହୁଏ । ଏପ୍ରକାର ବ୍ୟବସ୍ଥା ଫଳରେ କୁଣ୍ଡଳୀର ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ଅଂଶ ଅପେକ୍ଷା ଧାତୁଟିକୁ 80°c କମ୍ତର ତାପମାତ୍ରାକୁ ଶୀତଳ କରିହୁଏ ।

ପେଲ୍ଟିୟର emf ସାଙ୍ଗକୁ (ଏହା ଯେତେବେଳେ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ପରିବାହକ ମଧ୍ୟରେ ମିଳନସ୍ଥଳରେ ଦେଖା ଦେଇଥାଏ) ଥମସନ୍ emf ମଧ୍ୟ ଥାଏ । ଯେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ ପରିବାହୀର ଦୁଇ ମୁଣ୍ଡ ଦୁଇଟି ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ତାପମାତ୍ରାରେ ଥାଏ, ସେତେବେଳେ ଏହି emf ଦେଖା ଦେଇଥାଏ । ଥମସନ୍ emfର ଚିହ୍ନ ଓ ପରିମାଣ ପରିବାହୀଟି ଯେଉଁ ବସ୍ତୁରେ ତିଆରି, ତାଉପରେ ନିର୍ଭର କରିଥାଏ । ଚିହ୍ନକୁ ହିସାବକୁ ନେଇ ମିଳୁଥିବା ସମସ୍ତ ପେଲ୍ଟିୟର ଓ ଥମସନ emfର ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନ କୁଣ୍ଡଳୀସାରା ଯୋଗଫଳ ନେଲେ ସିବେକ୍ emf ମିଳିଥାଏ । ଯେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ କୁଣ୍ଡଳୀର ଦୁଇଟି ମିଳନସ୍ଥଳ ଦୁଇଟି ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ତାପମାତ୍ରାରେ ରହେ, ସେତେବେଳେ ଏହି emf ମିଳିଥାଏ ।

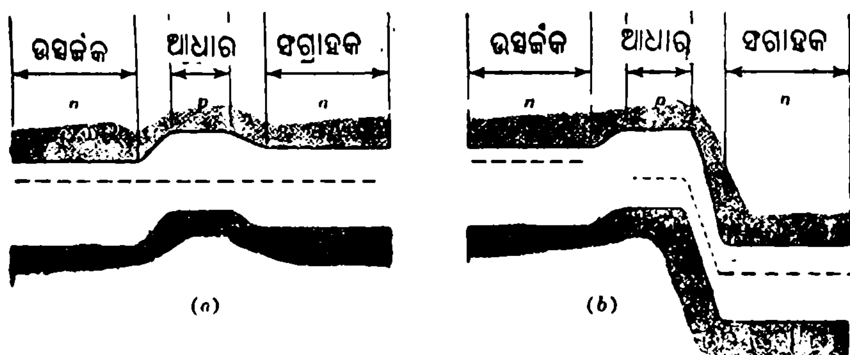
23·12 ଟ୍ରାଞ୍ଜିଷ୍ଟର :

ଗୋଟିଏ ମିଳନସ୍ଥଳ ଟ୍ରାଞ୍ଜିଷ୍ଟରରେ ଗୋଟିଏ ଏକକ ସ୍ଫଟିକ ମଧ୍ୟରେ ଦୁଇଟି $p-n$ ମିଳନସ୍ଥଳ ପାଖାପାଖି ହୋଇ ରହିଥାଏ । ସେଥିରେ ଦୁଇ ମିଳନସ୍ଥଳ ମଧ୍ୟରେ

ସ୍ଫଟିକର ପରିବହନ ପ୍ରକାର ନେଇ ଦୁଇ ମୂଳ ପ୍ରକାରର, $p-n-p$ ଓ $n-p-n$ ଟ୍ରାଞ୍ଜିଷ୍ଟର ରହିଥାଏ । ଦୁଇ ପ୍ରକାରର କାର୍ଯ୍ୟ ପ୍ରଣାଳୀ ମୂଳତଃ ସମାନ; କିନ୍ତୁ $p-n-p$ ଟ୍ରାଞ୍ଜିଷ୍ଟରମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଅଧିକାଂଶ ପରିବହନ ଗର୍ତ୍ତମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଓ $n-p-n$ ପାଇଁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଘଟିଥାଏ । ଉକ୍ତ ଡିଭାଇସ୍‌ମାନଙ୍କରେ ଦେଖାଯାଏ, କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ଗୁଣାବଳୀକୁ ଅଧିକ ସରସର ଟ୍ରାଞ୍ଜିଷ୍ଟର ଗଠନରେ ଅନେକ ଆତ୍ମାଧୀନ ଚରକୁ ନାନା ସ୍ତରରେ ବାଛି ଲାଭ କରାଯାଇଥାଏ । ଗୋଟିଏ $n-p-n$ ଟ୍ରାଞ୍ଜିଷ୍ଟରର କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ କରିବାରେ କେତେକ ଅନ୍ତର୍ନିହିତ ତତ୍ତ୍ୱ ଆମେ ଏଠାରେ ବର୍ଣ୍ଣନା କରିବୁ ।

$n-p-n$ ପ୍ରକାରର ଗୋଟିଏ ସାଧାରଣରେ ବ୍ୟବହୃତ ଟ୍ରାଞ୍ଜିଷ୍ଟରରେ ଗୋଟିଏ ଅଧିକ ପରିମାଣରେ ଖାଦଯୁକ୍ତ n ଅଂଶ ଗୋଟିଏ ଅଳ୍ପ ସ୍ତରରେ ଖାଦଯୁକ୍ତ n ଅଂଶଠାରୁ ଗୋଟିଏ ପାତଳ ($\approx 2 \mu$) ସ୍ୱଳ୍ପ ଖାଦଯୁକ୍ତ p ଅଂଶ ଦ୍ୱାରା ପୃଥକ ହୋଇଥାଏ । ଆନୁଭୂମିକ ସ୍କେଚ୍ ଯଥାର୍ଥ ସାମ୍ୟାବସ୍ଥା ପାଇଁ ଶକ୍ତି ସ୍ତର ଦେଖାଇବା ଚିତ୍ର ୧୩·୬୭ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ବ୍ୟବହାରବେଳେ, ଅଧିକ ଖାଦଯୁକ୍ତ ଅଂଶକୁ ଏହାକୁ ଉତ୍ସାରକ କୁହାଯାଏ) ଆଗୁଆ ବାୟସ୍ କରାଯାଏ । ଏହା ଫଳରେ n ଅଂଶ p ଅଂଶକୁ (ବା ଭୂମି) ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପ୍ରେରଣ କରିଥାଏ । ପ୍ରଧାନ କଥା ହେଲା ଯେ, ଭୂମିର ଦୈର୍ଘ୍ୟ (ଗୋଟିଏ ସଂଖ୍ୟାଲଘୁ ପରିବାହକ ଯେଉଁ ହାରାହାରି ଦୂରତା ଗୋଟିଏ ସଂଖ୍ୟାଗୁରୁ ପରିବାହକ ସହିତ ମିଳିତ ହେବା ପୂର୍ବରୁ ଗତି କରିଥାଏ); ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଭୂମିର ବେଧ ତୁଳନାରେ ଅତ୍ୟନ୍ତ ଅଧିକ ହୋଇଥାଏ; ତେଣୁ ଉତ୍ସାରକଠାରୁ ଆସି ଭୂମି ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରବେଶ କରୁଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ଅତି ସାମାନ୍ୟ ଭଗ୍ନାଂଶ ଗର୍ତ୍ତମାନଙ୍କ ସହିତ ମିଳିତ ହୋଇଥାଏ । ପ୍ରାୟ ସମସ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ $p-n$ ମିଳନସ୍ଥଳ ଦେଇ ସଂଗ୍ରାହକ ମଧ୍ୟକୁ ଯାଇଥାଏ । ସଂଗ୍ରାହକଟିରେ ବିପରୀତମୁଖୀ ବାୟସ ଦିଆ ହୋଇଥାଏ । ଲକ୍ଷ୍ୟ କରିବାର କଥା ଯେ, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାର ଘନତା ସାଧାରଣ ବ୍ୟବହାରବେଳେ ଆସି ନଥାଏ, ସେତେବେଳେ ଉତ୍ସାରକରୁ ବାହାରୁଥିବା ଅଧିକାଂଶ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଭୂମି ମଧ୍ୟ ଦେଇ ବିସରିତ ହୋଇ ଯାଇଥାଏ । ଭୂମି ସଂଗ୍ରାହକ ମିଳନସ୍ଥଳରେ ବିପରୀତ ବାୟସ୍ ଏହି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକୁ ସଂଗ୍ରାହକ ମଧ୍ୟକୁ ଟାଣିନେଇଥାଏ ।

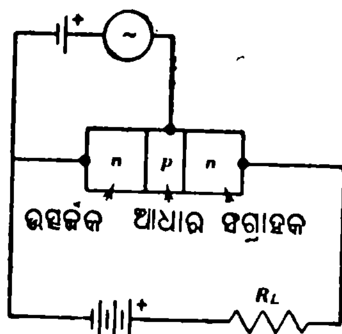
ସଂଗ୍ରାହକ ସ୍ରୋତ I_cର ନିଷ୍କାସିତ ସ୍ରୋତ I_e ପ୍ରତି ଅନୁପାତକୁ ସ୍ରୋତ ଲାଭ ଗୁଣକ α କୁହାଯାଏ, ଏହା ଅନେକ ଉପଯୁକ୍ତଭାବେ ଗଠିତ ଟ୍ରାଞ୍ଜିଷ୍ଟରରେ 1ର ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ ହୋଇଥାଏ । ଏହି ଗୁଣକଟି ନିଷ୍କାସକ୍ କାର୍ଯ୍ୟକୁଶଳତା γ ଓ ଭୂମି ସ୍ଥାନାନ୍ତରଣ କାର୍ଯ୍ୟକୁଶଳତା ε ର ଗୁଣଫଳ । ନିଷ୍କାସକର କାର୍ଯ୍ୟକୁଶଳତା ହେଲା ସଂଖ୍ୟାଗୁରୁ ବାହକ ପରିବହନ ହୋଇଥିବା ନିଷ୍କାସନ ମିଳନସ୍ଥଳର ସ୍ରୋତର ଭଗ୍ନାଂଶ । ଏକ୍ଷେତ୍ରରେ ଏହା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ । γକୁ 1ର ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ କରିବାପାଇଁ ନିଷ୍କାସକକୁ ଅତି ବେଶୀ ଖାଦଯୁକ୍ତ କରିବା ଦରକାର ହୋଇଥାଏ । $n-p-n$ ଟ୍ରାଞ୍ଜିଷ୍ଟର ପାଇଁ ଭୂମି ସ୍ଥାନାନ୍ତରଣ କାର୍ଯ୍ୟ କୁଶଳତା ହେଲା ସଂଗ୍ରାହକ ସ୍ରୋତର ନିଷ୍କାସକ ମିଳନସ୍ଥଳରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସ୍ରୋତ ପ୍ରତି ଅନୁପାତ; ଯେତେବେଳେ ଭୂମିଟି ବହୁ ସଙ୍କୀର୍ଣ୍ଣ ଓ p ବସ୍ତୁରେ



[ଚିତ୍ର ୨୩.୧୭ $n-p-n$ ମିଳନସ୍ଥଳ ଟ୍ରାଞ୍ଜିଷ୍ଟର ପାଇଁ ଶକ୍ତି ବ୍ୟାଣ୍ଡସବୁ (କ) କୌଣସି ଆରୋପିତ ବିଭବ ତାରତମ୍ୟ ନଥିବା କେବଳ ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ଏବଂ (ଖ) ଗୋଟିଏ ଅମ୍ପ୍ଲିଫାୟର ଭାବେ କାର୍ଯ୍ୟ କରିବାପାଇଁ ବାୟସ୍‌ଦିଆ]

ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ବିସରଣ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ଅଧିକ ହୁଏ, ସେତେବେଳେ ε ଟି ଏକର ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ ହୁଏ । ଭୂମି ଅଂଶ ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ଅଳ୍ପ ଖାଦଯୁକ୍ତ ଅଂଶ ଦେବା ସୁବିଧାଜନକ, କାରଣ ଖାଦ ଅଧିକ ହେଲେ ସଂଖ୍ୟାଲଘୁ ପରିବାହକମାନଙ୍କ ପାଇଁ ବିସରଣ ଦୈର୍ଘ୍ୟ କମ୍ କରି ଦେଇଥାଏ । କେତେକ ଭୋଲ୍ଟ ମାତ୍ର ସଂଗ୍ରାହକ ବିଭବ ନେଇ ସଂଗ୍ରାହକ ସ୍ରୋତ ପ୍ରାୟ ନିଷ୍କାସକ ସ୍ରୋତ ସହିତ ସମାନ ହୋଇଥାଏ ।

ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରୋନିକ୍ସ କୁଣ୍ଡଳୀମାନଙ୍କର ଟ୍ରାଞ୍ଜିଷ୍ଟରମାନେ ନାନାପ୍ରକାର କାର୍ଯ୍ୟ କରିଥାନ୍ତି । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ଚିତ୍ର ୨୩.୧୭ର ଟ୍ରାଞ୍ଜିଷ୍ଟର ଗୋଟିଏ ଭୂମିଷ୍ଠ ନିଷ୍କାସନ ଆମ୍ପ୍ଲିଫାୟରରୂପେ କାର୍ଯ୍ୟ କରିବାଲାଗି ଯୋଗ କରାଯାଇଅଛି । ଭୂମିଷ୍ଠ ନିଷ୍କାସକ ପଦ୍ଧତିରୁ



[ଚିତ୍ର ୨୩.୧୭ ଗୋଟିଏ *n – p – n* ଟ୍ରାଞ୍ଜିଷ୍ଟର ଗୋଟିଏ ଆମ୍ପ୍ଲିଫାୟରଭାବେ କାର୍ଯ୍ୟ କଲାବେଳେ ଗୋଟିଏ ଭୂମିଷ୍ଠ ନିଷ୍କାସକ]

ବୁଝାଯାଉଛି ଯେ, ନିଷ୍କାସକଟି ନିଯୋଜକ ଓ ଉତ୍ପାଦକ ଉଭୟ ମଧ୍ୟରେ ସାଧାରଣ (ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଉଦ୍ଦେଶ୍ୟରେ ଭୂମିଷ୍ଠଭୂମି ଓ ଭୂମିଷ୍ଠ ସଂଗ୍ରାହକ କୁଣ୍ଡଳୀଗୁଡ଼ିକ ମଧ୍ୟ ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇଥାଏ) । ଗୋଟିଏ ଆମ୍ପ୍ଲିଫାୟାର କୁଣ୍ଡଳ ର ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ବିଶ୍ଳେଷଣରେ ସମସ୍ତ ସ୍ରୋତ ସଂଯୋଜକ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଜ୍ଞାନ ଦରକାର ହେଉଥିଲେ ମଧ୍ୟ ଆମ୍ପ୍ଲିଫିକେସନ୍ କେଉଁ କାରଣରୁ ହୋଇଥାଏ, ତାହା ଗୁଣାତ୍ମକଭାବେ ବୁଝିବା ସହଜ । ନିଷ୍କାସକ ମିଳନସ୍ଥଳରେ ଆଗୁଆ ବାୟସ୍‌ରେ ସାମାନ୍ୟ ପରିବର୍ତ୍ତନ ନିଷ୍କାସକ ସ୍ରୋତରେ ବହୁତ ବେଶୀ ବୃଦ୍ଧି ଦେଖାଇ-ଥାଏ ଓ ଯଦି $\alpha \simeq 1$ ହୁଏ, ସଂଗ୍ରାହକ ସ୍ରୋତରେ ଅନୁରୂପ ପରିବର୍ତ୍ତନ ଦେଖାଯାଇଥାଏ । ଯଦି R_L ଅଧିକ ହୁଏ (କିନ୍ତୁ $I_c R_L$ ସଂଗ୍ରାହକ ବାୟସ ଭୋଲ୍‌ଟେଠାରୁ କମ୍ ହୋଇ-ଥାଏ ।) R_L ଦେଇ ବିଭବ ତାରତମ୍ୟରେ ଅନୁରୂପ ପରିବର୍ତ୍ତନ ନିଷ୍କାସନ ମିଳନସ୍ଥଳର ଭୋଲ୍‌ଟରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ତୁଳନାରେ ଅଧିକ ହୋଇଥାଏ । 40ରୁ 50 *db* ପାୱାର ବୃଦ୍ଧି ଅସାଧାରଣ ନୁହେଁ । ମାଇକ୍ରୋୱାଟ୍ ପାୱାର ସ୍ତରରେ ମିଳନସ୍ଥଳ ଟ୍ରାଞ୍ଜିଷ୍ଟର କାର୍ଯ୍ୟ କରିପାରେ । ଏଗୁଡ଼ିକ ଛୋଟ ବାକ୍ସ ଓ ବହୁ ସ୍ଥଳରେ ବ୍ୟବହୃତ ହେବା ପାଇଁ ହାତାହାତି ମିଳି ଯାଇଥାଏ ।

ପ୍ରଶ୍ନାବଳୀ

୧ । 200, 300 ଓ 400°kରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ ବିଶୁଦ୍ଧ ଜର୍ମାନିୟମ ସ୍ଫଟିକ ପାଇଁ ପ୍ରତି ଏକ ଆୟତନରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଓ ଗର୍ତ୍ତମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ହିସାବ କର ।
($E_g = 0.70eV$ ନିଅ)

ଉତ୍ତର : 3.6×10^{16}, 5.1×10^{19} ଓ 2.0×10^{21} m^{-3}

୨ । 1.1μଠାରୁ ଅଧିକ ଲମ୍ବପୂର୍ଣ୍ଣ ବିକିରଣ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ପାଇଁ ସିଲିକନ ଅନେକ ପଦ୍ମମାନରେ ସ୍ୱଚ୍ଛ; କିନ୍ତୁ କ୍ଷୁଦ୍ରତର ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟଗୁଡ଼ିକ ଅତି ଅଧିକ ଭାବରେ ଏହା ଶୋଷଣ କରିପାରେ । ଏହି ଜ୍ଞାତ ବିଷୟରୁ ସିଲିକନରେ ଶକ୍ତି ଫାଙ୍କା ହିସାବ କର ।

୩ । (କ) ନିଜସ୍ୱ ସିଲିକନରେ 300°kଠାରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଓ ଗର୍ତ୍ତମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ହିସାବ କର ।

(ଖ) ଯଦି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଓ ଗର୍ତ୍ତମାନଙ୍କର ଚାଲକ୍ୟ ଯଥାକ୍ରମେ 0.12 ଓ 0.05 m^2/V-s ହୁଏ, Siର 300°kରେ ପରିବହନଶୀଳତା ବାହାର କର ।

(ଗ) ଆକାଙ୍କ୍ଷିତ ହଲ୍ ଅଙ୍କ 300°kଠାରେ ହିସାବ କର ।

ଉତ୍ତର : (କ) $1.5 \times 10^{16} m^{-3}$; (ଖ) $4.1 \times 10^{-4} mho/m$;
(ଗ) $170 m^3/c$ ।

୪ । Ge ସ୍ଫଟିକରେ ଗୋଟିଏ ଏକୁଟିଆ As ଦାତା ପରମାଣୁର ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଭାଲେନ୍ସି ବ୍ୟାଣ୍ଡ ଗଠନ କରିଥାଏ ବୋଲି ଅନୁମାନ କର ଓ ପଞ୍ଚମଟି ଗୋଟିଏ $+e$ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ଗୁଜ ଥିବା ନିଉକ୍ଲିୟସର ସ୍ୱଶପଦେ ପାରକ ଧ୍ରୁବ 16 ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ମାଧ୍ୟମରେ ପ୍ରଥମ ବୋର୍ କକ୍ଷରେ ରହିଥାଏ । ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତି ଓ ଏହି କକ୍ଷର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ବାହାର କର । ge ସ୍ଫଟିକରେ ଏ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧକୁ ନିକଟତମ ପଡ଼ୋଶୀର ବ୍ୟବଧାନ ସହିତ ତୁଳନା କର ।

୫ । (କ) ଗୋଟିଏ ସିଲିକନ ଲାଟିସ୍‌ରେ (ଚିତ୍ର ୨୩.୪କ) ଗୋଟିଏ ଆର୍ସେନିକ୍ ପରମାଣୁର ପଞ୍ଚମ ଭାଲେନ୍ସି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ସମ୍ପର୍କ ବନ୍ଧନ ଅବସ୍ଥାରେ ଶକ୍ତି ହିସାବ କର, ଅନୁମାନ କର ଯେ Siର ବିଶିଷ୍ଟ ପ୍ରେରଣ ଧାରକତ୍ୱ 12 ।

(ଖ) ପ୍ରଥମ ବୋର୍ କକ୍ଷର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ହିସାବ କର ।

(ଗ) ଏହି ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧର ସିଲିକନ ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ପରସ୍ପର ଅନ୍ତର ବାହାର କର (ଯଦି $a = 5.4 A^\circ$ ହୁଏ) ।

୬ । ଗୋଟିଏ ଜର୍ମାନିୟମ ଅର୍ଦ୍ଧପରିବାହୀରେ ଫସ୍‌ଫରସ୍ ଖାଦ 5×10^{23} $atoms/m^3$ ହାରରେ ମିଶାଯାଇଥିବାବେଳେ 200, 300 ଓ $400^\circ k$ ତାପମାତ୍ରାରେ, ତାପାର୍ଦ୍ଧ ଫର୍ମିସ୍ତରର ଅବସ୍ଥାନ ବାହାର କର ।

ଉତ୍ତର : E_c ତଳେ 0.10, 0.16, 0.23eV.

୭ । ଗୋଟିଏ ଜର୍ମାନିୟମ ସ୍ଫଟିକର ଫସ୍‌ଫରସ ଖାଦ $10^{23} atoms/m^3$ ଓ ଆଲୁମିନିୟମ 5×10^{23} $atoms/m^3$ ହାରରେ ମିଶାଯାଇଅଛି । ଏହି ସ୍ଫଟିକର ପରିବହନଶୀଳତା ପ୍ରଶ୍ନ ୬ରେ ଦିଆଥିବା ସ୍ଫଟିକର ପରିବହନଶୀଳତା ସହ ଦୁହେଁ $300^\circ k$ରେ ଥିବାବେଳେ କପରି ତୁଳନୀୟ ? ଯଦି ଗର୍ତ୍ତ ଓ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ଚାଳକ୍ୟ ଯଥାକ୍ରମେ 0.20 ଓ $0.40 m^2/V-s$ ହୁଏ, ପରିବହନଶୀଳତା ହିସାବ କର । ବିଶୁଦ୍ଧ Geଠାରୁ ଏହି ପରିବହନଶୀଳତା କେତେଗୁଣ ବେଶୀ?

ଉତ୍ତର : 3.2×10^3 $mhos/m$; 1600.

୮ । ଦେଖାଅ ଯେ, ଯଦି ଗୋଟିଏ ଅର୍ଦ୍ଧପରିବାହୀର ଶୂନ୍ୟ ହଲ୍ ଅଙ୍କ ଥାଏ, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ପରିବାହିତ f ଭଗ୍ନାଂଶର ସ୍ରୋତ $f = \mu_p/(\mu_n + \mu_p)$ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ । ଗୋଟିଏ ସିଲିକନ ନମୁନାପାଇଁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ଚାଳକ୍ୟ $0.12 m^2/V-s$ ଓ ଗର୍ତ୍ତମାନଙ୍କର ଚାଳକ୍ୟ 0.05 ହେଲେ fର ମୂଲ୍ୟ ବାହାର କର ।

୯। ଗୋଟିଏ $p-n$ ମିଳନସ୍ଥଳର ରେକ୍ଟିଫାଇଙ୍ଗ୍ ସ୍ୱଗୁଣାବଳୀକୁ ବୁଝାଇବାର ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ଉପାୟ, ବ୍ୟାସ ଅଞ୍ଚଳର ଚଉଡ଼ାରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରି ହୋଇଥାଏ । ରେକ୍ଟିଫିକେସନକୁ ଏହି ପ୍ରଣାଳୀରେ ଆଲୋଚନା କର ।

୧୦। ଚିତ୍ର ୨୩·୬ ସାହାଯ୍ୟରେ ଜର୍ମାନିୟମରେ $p-n$ ମିଳନସ୍ଥଳରେ କୋଠରୀର ତାପମାତ୍ରାରେ ଗ୍ରହୀତାର ସାନ୍ଦ୍ରତା $10^{22} atoms/m^3$ ଓ ଦାତାର ସାନ୍ଦ୍ରତା $10^{25} atoms/m^3$ ଥିବାବେଳେ ଅନ୍ତଃବିଭବାନ୍ତର $\Delta V\left(=\frac{\Delta E}{e}\right)$ ହିସାବ କର । ମିଳନସ୍ଥଳର ଚଉଡ଼ା ହିସାବ କର ।

୧୧। ଗୋଟିଏ ନିଜସ୍ୱ ଅର୍ଦ୍ଧପରିବାହୀର ବ୍ୟାଣ୍ଡ ଫାଙ୍କ 0·2eV ଅଛି ବୋଲି ଆଲୋକ ଶୋଷଣ ପ୍ରଣାଳୀରେ ସ୍ଥିର କରାଗଲା । ଯଦି 290°kରେ ଏହାର ପରିବହନଶୀଳତା 3$mhos/m$ ହୁଏ, 400°kଠାରେ ଏହାର ପରିବହନଶୀଳତା ହିସାବ କର, ଅନୁମାନ କର ଯେ, ଇଲେକଟ୍ରନ ଓ ଗର୍ତ୍ତ ଉଭୟଙ୍କର ଚାଲକତା ଧ୍ରୁବ ରହେ ଏବଂ ଗର୍ତ୍ତ ଓ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସମାନ ରହେ ।

୧୨। (କ) ଗୋଟିଏ ସହସା ମିଳନସ୍ଥଳର ଚଉଡ଼ା w ($w=X_n+X_p$ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ)

$$\frac{1}{e}\left[(2\in_0 K\Delta E)\left(\frac{1}{N_a}+\frac{1}{N_d}\right)\right]^{\frac{1}{2}}$$

ସହ ସମାନ ହୋଇଥାଏ; ଏଠାରେ ସଂଖ୍ୟାଗୁଡ଼ିକର ଅର୍ଥ ଅନୁ. ୨୩·୬ରେ ଦିଆଯାଇଅଛି ।

(ଖ) ଦେଖାଅ ଯେ, ଯେତେବେଳେ $N_a << N_d$

$$w=1/e\left(\frac{2\in_0 k\Delta E}{N_a}\right)^{\frac{1}{2}}$$

୧୩। ଗୋଟିଏ $p-n$ ମିଳନସ୍ଥଳରେ ବିପରୀତ ଗୁଣର ଗୋଟିଏ ସ୍ତରର ଗୋଟିଏ ସଙ୍କୀର୍ଣ୍ଣ ବ୍ୟାସ ସ୍ତର ଦ୍ୱାରା ପୃଥକ ହୋଇ ରହିଅଛି ଏବଂ ଏହି କାରଣରୁ ଏହା

ଗୋଟିଏ ଧାରକ ଭାବରେ କାର୍ଯ୍ୟ କରୁଅଛି । ଗୋଟିଏ ସମାନ୍ତର-ଫଲକ ଧାରକର ଧାରକତ୍ୱ $c = \in_0 kA/d$ ହୋଇଥିବାରୁ, (ଏଠାରେ A ହେଲା କ୍ଷେତ୍ରଫଳ ଓ d ହେଲା ବ୍ୟବଧାନ) ଦେଖାଅ ଯେ, ଯେଉଁ $p-n$ ମିଳନସ୍ଥଳ ପାଇଁ $N_d >> N_a$ ହୁଏ, ତା'ର ପ୍ରତି ଏକକ କ୍ଷେତ୍ରଫଳ ପାଇଁ ଧାରକତ୍ୱ ମୋଟାମୋଟି

$$C_{\text{କ୍ଷେତ୍ରଫଳ}} = \left[\frac{\in_0 K N_a e^2}{2(\Delta E + Ve)}\right]$$

ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ, ଏଠାରେ V ହେଲା ମିଳନସ୍ଥଳରେ ଆରୋପିତ ବିଭବାନ୍ତର । ତେଣୁ ଆରୋପିତ ବିଭବ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରି ଧାରକତ୍ୱରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୋଇଥାଏ । (ପୂର୍ବ ପ୍ରଶ୍ନର ଉତ୍ତରକୁ ବ୍ୟବହାର କର) ।

୧୪ । ଗୋଟିଏ ସିଲିକନ $p-n$ ମିଳନସ୍ଥଳରେ ଗାଲିୟମ 10^{24} $atoms/m^3$ ହାରରେ N_a ପାଇଁ ଓ ଆର୍ସେନିକ 2×10^{22} $atoms/m^3$ ହାରରେ N_d ପାଇଁ ରହିଅଛି । ଏହି ମିଳନସ୍ଥଳ ପାଇଁ ΔEର ମୋଟାମୋଟି ମୂଲ୍ୟ କେତେ ? ମିଳନସ୍ଥଳର ମୋଟାମୋଟି ବେଧ କେତେ ?

୧୫ । ଚିତ୍ର ୨୩·୧୪ରେ n ବସ୍ତୁରୁ ଧାତୁକୁ "ପ୍ରପାତ ଉପର ଦେଇ" ଯାଉଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ମୋଟାମୋଟି ଗତିଶକ୍ତି $2kT$ ବୋଲି ଦେଖାଅ ।

ଚତୁର୍ବିଂଶ ଅଧ୍ୟାୟ

ଉଚ୍ଚ ଶକ୍ତିସମ୍ପନ୍ନ କଣିକାମାନଙ୍କର ବସ୍ତୁ ସହିତ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା

ଯେତେବେଳେ ଉଚ୍ଚ ଶକ୍ତି ସମ୍ପନ୍ନ ଚାର୍ଜ କଣିକା ଓ ଫୋଟନଗୁଡ଼ିକ ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁ ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଗତି କରେ, ସେମାନେ ନାନାପ୍ରକାରରେ ବସ୍ତୁଟିର ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକ ସଙ୍ଗେ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଘଟାଇଥାନ୍ତି । ଏଥିରେ ଘଟୁଥିବା ପ୍ରଣାଳୀଗୁଡ଼ିକର କେତେକ ଧାରଣା ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ଭୌତିକୀ ପାଇଁ ମୂଲ୍ୟବାନ୍ ମୂଳବନ୍ଧ ହେବ, କାରଣ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ପରୀକ୍ଷଣରେ କ୍ରିୟାମାନଙ୍କରେ ଲକ୍ଷ୍ୟ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସଗୁଡ଼ିକ, ପ୍ରକ୍ଷେପକାସ୍ତ୍ର କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ଓ ପରିଣାମୀ କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ଦେଖାଯିବାପାଇଁ ଅତି କମ୍ ଏବଂ ସୂକ୍ଷ୍ମତମ ଲକ୍ଷଣରେ ଓଜନ କରିବାପାଇଁ ମଧ୍ୟ ଅତି ହାଲୁକା । ଫଳରେ ଗୋଟିଏ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାର ଧାରଣା ଜନ୍ମାଇବା ପାଇଁ କଣିକାମାନଙ୍କର ସେମାନେ ଯେଉଁ ବସ୍ତୁ ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଗତି କରୁଥାନ୍ତି, ସେମାନଙ୍କ ସହିତ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାରୁ ପରୋକ୍ଷ ପ୍ରମାଣ ନେଇ ଅନୁମାନ କରିବାକୁ ହୋଇଥାଏ । ଗୋଟିଏ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛରୁ ଉଚ୍ଚଶକ୍ତି ଫୋଟନଗୁଡ଼ିକୁ କପରି ହଟାଇ ନିଆଯାଏ, ତାହା ଆମେ ପ୍ରଥମେ ଆଲୋଚନା କରିବା ।

24·1 ଗୋଟିଏ ଫୋଟନ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛର କ୍ଷୟ :

ଯେତେବେଳେ ଫୋଟନଗୁଡ଼ିକ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ସଂକ୍ରମଣରୁ ଜାତ ହୋଇଥାନ୍ତି, ସେମାନଙ୍କୁ γ-ରଶ୍ମି କୁହାଯାଏ । ସେମାନେ ଯଦି ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବା ଅନ୍ୟ ଚାର୍ଜ

କଣିକାମାନଙ୍କରୁ ଜାତ ହୋଇଥାନ୍ତି, ସେଗୁଡ଼ିକ ବିକିରଣାଂଶ (ଉତ୍ତରରେ ଅଂଶ) ବା ଏକ୍ସରେ ଭାବରେ ପରିଚିତ ହୋଇଥାନ୍ତି । ସେମାନଙ୍କ ଦେହ ପ୍ରାଥମିକ ବିଭିନ୍ନ ଉପର ବାୟୁମଣ୍ଡଳରେ ପାରସ୍ପରିକକ୍ରିୟା ଦ୍ୱାରା ସୃଷ୍ଟି କରିଥାଏ, ସେଗୁଡ଼ିକୁ ଦ୍ୱିତୀୟସ୍ତର ବିଭିନ୍ନ ବୁଝାଯାଏ । ସେମାନଙ୍କର ଜନ୍ମ ଗତ ଗୋଟିଏ ପଜିଟ୍ରନ ଓ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ମିଳନଦ୍ୱାରା ହୋଇଥାଏ, ସେଗୁଡ଼ିକ ବିନାଶ ବିକିରଣ ଭାବରେ ବର୍ଣ୍ଣନା କରାଯାଏ । ଫୋଟନମାନଙ୍କର ଗୁଣ ସ୍ପନ୍ଦନ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ ଏବଂ ସେମାନଙ୍କର ଉତ୍ସ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେନାହିଁ ।

ଯେତେବେଳେ ଉଚ୍ଚଶକ୍ତି ଫୋଟନମାନଙ୍କର ଗୋଟିଏ ଏକରଙ୍ଗୀ ସଂକୀର୍ଣ୍ଣ ସମାନୀକୃତ ରଶ୍ମି ଗୁଚ୍ଛ x ବେଧ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ପାତଳ ଫିଲ୍ମ ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଗତି କରେ, ସେହି ଦଳରେ ଓ ସେହି ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟରେ ଆଗେଇ ଯାଉଥିବା ତୀବ୍ରତା I

$$I = I_0 e^{-\mu x} \qquad (୨୪·୧)$$

ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ, ଏଠାରେ I_0 ହେଲା ଆପତନ ତୀବ୍ରତା ଓ μ ହେଲା ସରଳରୈଖିକ ହ୍ରାସାଙ୍କ । (ଗ୍ରନ୍ଥମାନଙ୍କରେ ଏହାକୁ ସମସ୍ତ ସମୟରେ ସରଳରୈଖିକ ଶୋଷଣାଙ୍କ ବୋଲି ବୁଝାଯାଇଥାଏ; ଆମ ଶୋଷଣାଙ୍କ ଶବ୍ଦଟିକୁ ଶକ୍ତିର ଯେଉଁ ଅଂଶ ଶୋଷକ ମଧ୍ୟରେ ଅନ୍ତଃଶକ୍ତିରେ ପରିଣତ ହୋଇଥାଏ, ସେହି ଅଂଶକୁ ବୁଝାଇବା ପାଇଁ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର କରି ରଖିଛୁ) । ଏହ ଏକ୍ସପୋନେନସିଅ୍ ହ୍ରାସ ନିୟମ ଯେଉଁ ପ୍ରଣାଳୀରେ ଗୋଟିଏ ଘଟଣାରେ ଗୋଟିଏ କଣିକା ରଶ୍ମି ଗୁଚ୍ଛରୁ ବାହାରିଯାଏ, ସେହି ପ୍ରଣାଳୀର ଗୁଣ ସୂଚାଇଥାଏ । ଏହାର ବିପରୀତ ହେଲା, ବାୟୁରେ α କଣିକାର ଶୋଷଣ, ଏତେବେଳେ ବାୟୁ ଅଣୁମାନଙ୍କ ସହିତ ପ୍ରତି ଅଘାତରେ α କଣିକା ଅଳ୍ପ ଅଳ୍ପ ଅଂଶ କ୍ରମେ ହରାଇ ବହୁତଗୁଡ଼ିଏ ଅଣୁ ସହିତ ସଂଘର୍ଷ ଘଟାଇଥାଏ; ଯେତେବେଳେ ସମସ୍ତ ଗତିଜ ଶକ୍ତି ଛଯ୍ୟ ହୋଇଯାଏ, ସେତେବେଳେ α କଣିକାଟିର ଗତି ବନ୍ଦ ହୋଇଯାଏ ବୋଲି ବୁଝାଯାଏ ।

ସରଳରୈଖିକ ହ୍ରାସାଙ୍କର ଶୋଷକର ସାନ୍ଦ୍ରତା ସହିତ ଅନୁପାତକୁ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ହ୍ରାସାଙ୍କ μ_m ବୋଲି କୁହାଯାଏ । ଏହାର ଗୋଟିଏ ଦରକାରୀ ଗୁଣ ହେଲା ଗୋଟିଏ ଶୋଷକ ବସ୍ତୁ ଯେଉଁ ଅବସ୍ଥାରେ ଅଛି, ଏହା ତାହା ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ ନାହିଁ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ଏହା ବାଷ୍ପ, ଜଳ ଓ ବରଫ ସମସ୍ତଙ୍କ ପାଇଁ ସମାନ । ଦେହ କୌଣସି ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ

ପାଇଁ ବସ୍ତୁର ହ୍ରାସାଙ୍କକୁ ପାରମାଣବିକ ଓଜନ A ଦ୍ୱାରା ଗୁଣନ କରାଯାଏ ଓ ଆଭୋଗାଡ୍ରୋ ସଂଖ୍ୟା N_Aରେ ଗୁଣାଯାଏ, ଫଳ ହେଲା ପାରମାଣବିକ ହ୍ରାସାଙ୍କ μ_a ।

$$\mu_a = \frac{\mu_m A}{N_A} = \frac{\mu A}{\rho N_A} \qquad (୨୪.୧)$$

ପାରମାଣବିକ ହ୍ରାସାଙ୍କ ଗୋଟିଏ ଦରକାରୀ ଧାରଣା କାରଣ ଗୋଟିଏ ଅଣୁରେ ଥିବା ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ଜାତି ପ୍ରତି ପରମାଣୁର ଅବଦାନଗୁଡ଼ିକୁ କେବଳ ଯୋଗ କରିବା ଦ୍ୱାରା ଯେକୌଣସି ପ୍ରକାରର ଅଣୁପାଇଁ ଆଣବିକ ହ୍ରାସାଙ୍କ ମିଳିଥାଏ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ କପର୍ ସଲ୍ଫେଟର ଆଣବିକ ହ୍ରାସାଙ୍କ

$$\mu CuSo_4 = \mu Cu + \mu_S + 4\mu o \qquad (୨୪.୩)$$

ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ । ଯେଉଁ ରାସାୟନିକ ଯୌଗିକର ସୂତ୍ର ଓ ସେଥିରେ ଥିବା ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ପାରମାଣବିକ ହ୍ରାସାଙ୍କ ଜଣାଅଛି, ତାପାଇଁ ଆଣବିକ ହ୍ରାସାଙ୍କ ହିସାବ କରାଯାଇପାରେ ।

24.2 କ୍ଷୟ ପ୍ରଣାଳୀ :

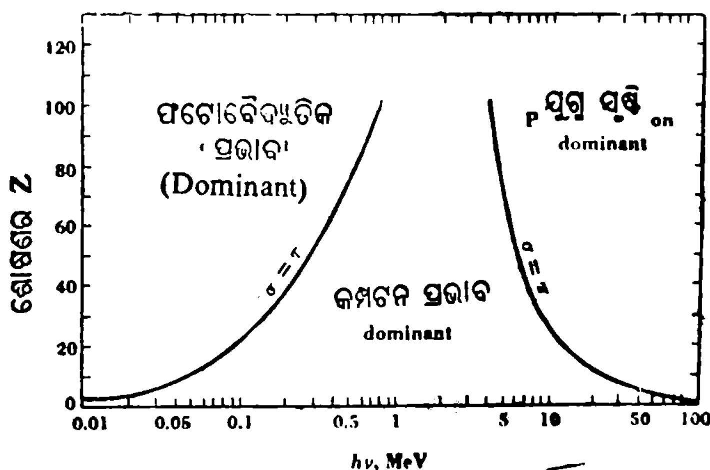
ଏକ୍ସରେ ଫୋଟନଗୁଡ଼ିକ ଗୋଟିଏ ଭଲରୂପେ ସରଣୀକୃତ ରଶ୍ମି ଗୁଚ୍ଛରୁ ଅନେକ ପ୍ରଣାଳୀରେ କାଢ଼ି ନିଆଯାଇପାରେ, ନିମ୍ନ ପରିସର ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ଶକ୍ତି ପାଇଁ ସାଧାରଣତଃ ଫଟୋବୈଦ୍ୟୁତିକ ପ୍ରଣାଳୀ ସର୍ବପ୍ରଧାନ, ମଧ୍ୟସ୍ଥ ଶକ୍ତି ପରିସର ପାଇଁ ବିଚ୍ଛୁରଣ ଓ ଉଚ୍ଚ ଶକ୍ତି ପାଇଁ ଯୁଗଳ ସୃଷ୍ଟି ସର୍ବପ୍ରଧାନ । ଏହା ସାଙ୍ଗକୁ, ଯଥେଷ୍ଟ ଉଚ୍ଚଶକ୍ତିର ଫୋଟନଗୁଡ଼ିକ ନିଉକ୍ଲିୟର ପ୍ରକ୍ରିୟାମାନଙ୍କରେ ଶୋଷିତ ହୋଇ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ କଣିକା ନିଷ୍କାସନ କରିଥାଏ । ନିଉକ୍ଲିୟସରୁ ବା ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁର ବିଭାଜନ ଘଟାଇଥାଏ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, 2.2meV ଫୋଟନଗୁଡ଼ିକ ଗୋଟିଏ ଡ୍ୟୁଟେରନକୁ ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନ ଓ ଗୋଟିଏ ନିଉଟ୍ରନରେ ଭାଙ୍ଗି ଦେଇଥାଏ । ଏହି ପ୍ରଣାଳୀକୁ ଫଟୋବିଘଟନ କୁହାଯାଏ । ସାଧାରଣ ଏପରି ପ୍ରକ୍ରିୟାପାଇଁ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ ଅପେକ୍ଷାକୃତ କମ୍, ତେଣୁ ଆମେ ପାରମାଣବିକ ଶୋଷଣାଙ୍କକୁ

$$\mu_a = \tau_a + \sigma_a + \pi_a \qquad (୨୪.୦)$$

ବୋଲି ଲେଖି ପାରିବା । ଏଠାରେ τ_a, σ_a ଓ κ_a ଯଥାକ୍ରମେ ଫଟୋବୈଦ୍ୟୁତିକ ଶୋଷଣ, କମ୍ପଟନ ଓ ଯୁଗ୍ମ ଗଠନ ପାଇଁ ପାରମାଣବିକ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ । ଏହି ପ୍ରଣାଳୀମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ କେଉଁଟି ପ୍ରଧାନ ହୁଏ ତାହା ଫୋଟନମାନଙ୍କର ଶକ୍ତି ଓ ଶୋଷକର ପାରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ (ଚିତ୍ର ୨୪.୧) ।

(କ) ଫଟୋ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଶୋଷଣ : KeV ପରିସରରେ ଥିବା ନିମ୍ନ ଶକ୍ତିର ଫୋଟନଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରଧାନତଃ ଫଟୋ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ପ୍ରଣାଳୀରେ ଶୋଷିତ ହୋଇଥାଏ । ଯେଉଁ ଫୋଟନମାନଙ୍କ ଶକ୍ତି h ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତିଠାରୁ ଅଧିକ, ସେମାନଙ୍କ ପାଇଁ, ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁର ପାରମାଣବିକ ଫଟୋବୈଦ୍ୟୁତିକ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ λ କମିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ କମି ଯାଇଥାଏ । ଗୋଟିଏ ସ୍ଥୂଳ ଆସନ୍ନ ହେଲା

$$T_a = CZ^4\lambda^3 \qquad (୨୪.୨)$$



[ଚିତ୍ର ୨୪.୧ ଗୋଟିଏ ସରଣୀକୃତ ରଶ୍ମି ଗୁଚ୍ଛରୁ ଉଚ୍ଚଶକ୍ତି ଫୋଟନଗୁଡ଼ିକ ଫଟୋ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଶୋଷଣ, କମ୍ପଟନ ଓ ଯୁଗ୍ମ ଗଠନ ଦ୍ୱାରା ଦୂରୀଭୂତ ହୋଇଥାଏ । ରେଖାଗୁଡ଼ିକ Z $h\nu$ର ମୂଲ୍ୟରୁ ଦୁଇ ପଡ଼ୋଶୀ ପ୍ରଭାବ ସମାନ ହେଲାବେଳେ ଦେଉଥାଏ]

ଏଠାରେ C ଗୋଟିଏ ଧ୍ରୁବ, ଏହା ମୋଟାମୋଟି $2{\cdot}6\times10^{-30}m^2$ ସହିତ ସମାନ । K ଧାରର ଅନେକ ତଳେ ଥିବା λ ପାଇଁ, ଅନଧିକ (ବିଶେଷ ନୁହେଁ) ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ପରିସର ମଧ୍ୟରେ τ_aର ମାନ $\lambda^{3{\cdot}5}$ର ଅନୁଗତ ଭାବେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇଥାଏ; ଏକ୍ସ-ପୋନେଣ୍ଟଟି ସେତେବେଳେ କମିଯାଏ । ତେଣୁ ଫୋଟନର ଶକ୍ତିପାଇଁ $E<0{\cdot}5MeV$ ହୁଏ, T_a ମୋଟାମୋଟି ଭାବରେ λକୁ ଅନୁପାତୀ ହୁଏ । ଫୋଟନର ଶକ୍ତି ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ Zର ଏକ୍ସପୋନେଣ୍ଟ ମଧ୍ୟ ବଢ଼ିଥାଏ; $E=3MeV$ ପାଇଁ, τ_aଟି $Z^{4{\cdot}6}$ର ଅନୁପାତୀ ହୁଏ ଏବଂ ଅତି ଉଚ୍ଚ ଶକ୍ତି ପାଇଁ Z^5 ବୋଧହୁଏ ଗୋଟିଏ ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ହେବାର । କିନ୍ତୁ, MeV ପରିସର ମଧ୍ୟସ୍ଥ ଶକ୍ତି ପାଇଁ, τ_a କେବଳ ବିକ୍ଷେପଣ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ ଅପେକ୍ଷା କମ୍ ।

(ଖ) ବିକ୍ଷେପଣ: ଗୋଟିଏ ଭଲମତେ ସମାନ୍ତରୀକୃତ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛରୁ ଫୋଟନଗୁଡ଼ିକ ବିକ୍ଷେପଣ ପ୍ରଣାଳୀରେ ମଧ୍ୟ କାଢ଼ି ନିଆଯାଇପାରେ । କମ୍ପଟନ ପ୍ରକାରର ଫୋଟନ [ଯେଉଁଥିରେ ଫୋଟନର ଶକ୍ତିର କେତେକ ଅଂଶ ମାତ୍ର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନକୁ ଯାଇଥାଏ, (ଅନୁ: ୭'୧୦)] ଓ ଥମସନ୍-ରାଲେ ପ୍ରକାରର (ଅନୁ: ୭'୯), ଉଭୟ ପ୍ରକାର ଫୋଟନରେ ଏପରି ହୋଇଥାଏ । ପରେଶେଷଟି ଦୀର୍ଘ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଅଧିକ ସମ୍ଭବ ହୋଇଥାଏ, କିନ୍ତୁ ଉଚ୍ଚଶକ୍ତି ସମ୍ପନ୍ନ ଫୋଟନମାନଙ୍କ ପାଇଁ କମ୍ପଟନ ବିକ୍ଷେପଣ ହିଁ ଅଧିକ ପ୍ରଧାନ । 1929ରେ କ୍ଲେଇନ ଓ ନିସିନା କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀର ଡିରାକ୍ ଆପେକ୍ଷିକୀୟ ସୂତ୍ର ପ୍ରୟୋଗ କରି ଗୋଟିଏ ବ୍ୟାପକ ବିକ୍ଷେପଣ ତତ୍ତ୍ୱ ପାଇବାକୁ ଚେଷ୍ଟା କରିଥିଲେ । ଏହା ବିକ୍ଷେପିତ ବିକିରଣରେ କୌଣିକ ତୀବ୍ରତା ଓ ପାର୍ଶ୍ୱିକରଣ ଠିକ୍ ଭାବରେ ପ୍ରକାଶ କରି ପାରିଥିଲା ।

ଶକ୍ତି $h\nu$ର ପାର୍ଶ୍ୱୀକୃତ କ୍ୱାଣ୍ଟମ z ଅକ୍ଷରେ x ଦିଗରେ ଏହାର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଭେକ୍ଟରକୁ ରଖି ଗତି କରିବାର ବିଚାର କର । I ଆପତନ ତୀବ୍ରତା ହେଉ ଓ $h\nu_\theta$ ଶକ୍ତିର ବିକିରଣ ଗୋଟିଏ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଦ୍ୱାରା z ଅକ୍ଷରେ θ କୋଣରେ ବିକ୍ଷେପିତ ହେବା ବିଚାର କର । ବିକ୍ଷେପଣର ସମତଳ (ଅର୍ଥାତ୍, ଆପତନ ଓ ବିକ୍ଷେପଣ କ୍ୱାଣ୍ଟମମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ନିର୍ଦ୍ଧାରିତ ସମତଳ) ଓ xz ସମତଳ ମଧ୍ୟରେ ψ କୋଣ ହେଉ । θ କୋଣରେ ବିକ୍ଷେପିତ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛରେ ତୀବ୍ରତା ଦୁଇଟି ସରଳ ରୈଖିକ ଭାବରେ ପାର୍ଶ୍ୱୀକୃତ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛର ଯୋଗଫଳ ବୋଲି ବିଚାର କର । ଗୋଟିକର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଭେକ୍ଟର xz ସମତଳକୁ

ଅଭିଲମ୍ବ ସ୍ଥିତିରେ ଓ ଅନ୍ୟଟିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଭେକ୍ଟର xz ସମତଳରେ ରହୁ । ଏଗୁଡ଼ିକୁ I_{0I} ଓ I_{0II} ଦ୍ୱାରା ଯଥାକ୍ରମେ ସୂଚିତ କାଉ । କ୍ଲେଇନ-ନିଶିନା ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ, ବିକ୍ଷେପକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଠାରୁ r ଦୂରତାରେ,

$$I_{0I} = \frac{1}{4r^2}\left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 mc^2}\right)^2\left(\frac{h\nu_\theta}{h\nu}\right)^2 \left(\frac{h\nu_\theta}{h\nu} + \frac{h\nu}{h\nu_\theta} - 2\right) \qquad (୨୪.୭କ)$$

$$I_{0II} = \frac{1}{4r^2}\left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 mc^2}\right)^2\left(\frac{h\nu_\theta}{h\nu}\right)^3 \left(\frac{h\nu_\theta}{h\nu}\right) + \frac{h\nu}{h\nu_\theta} + 2 - 4\sin^2\theta\cos^2\psi\Big) \qquad (୨୪.୭ଖ)$$

ଏଠାରେ $e^2/4\pi\epsilon_0 mc^2$ ହେଉଛି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଚିରସମ୍ମତ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ, ସମୀକରଣ (୨·୧୬) । ଗୋଟିଏ ଅଣପୋଲାରିତ ପ୍ରାଥମିକ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛରୁ କୋଣ θରେ ବିକ୍ଷେପିତ ମୋଟ ତୀବ୍ରତା I_0 ସମୀକରଣ (୨୪·୭କ, ଖ)କୁ ψରେ ହାରାହାରି ବାହାର କରି ଓ ଯୋଗ କରି ହିସାବ କରାଯାଇପାରେ । ଏଥିରୁ ସାଧାରଣ ସମ୍ବନ୍ଧ ମିଳିବ,

$$I_0 = \frac{1}{2r^2}\left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 mc^2}\right)^2\left(\frac{h\nu_\theta}{h\nu}\right)^2 \left(\frac{h\nu_\theta}{h\nu} + \frac{h\nu}{h\nu_\theta} - \sin^2\theta\right) \qquad (୨୪.୭)$$

ସମୀକରଣ ୭·୧୭କରୁ ସିଧାସଳଖ ମିଳିଲା,

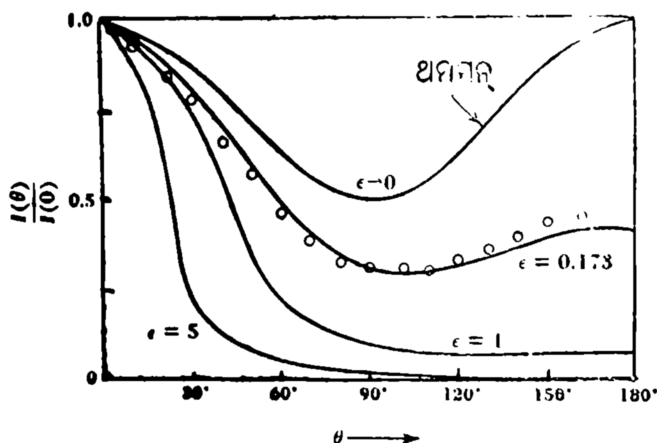
$$\nu_\theta = \frac{\nu}{1+\epsilon(1-\cos\theta)} \qquad (୨୪.୮)$$

ଏଠାରେ $\epsilon h\nu/mc^2$ ସମୀକରଣ (୨୪·୮)କୁ (୨୪·୭)ରେ ବସାଇଲେ ମିଳିବ,

$$I_0 = \frac{1}{2r^2}\left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 mc^2}\right)^2 (1+\cos^2\theta)\left[\frac{1}{1+\epsilon(1-\cos\theta)}\right]^3 \left\{1+\frac{\epsilon^2(1-\cos\theta)^2}{(1+\cos^2\theta)[1+\epsilon(1-\cos\theta)]}\right\} \qquad (୨୪.୯)$$

କ୍ଲେଇନ-ନିସିନା ବିକ୍ଷୁରଣର ତୀବ୍ରତା ବଣ୍ଟନ θର ଗୋଟିଏ ଫଳନ ଭାବରେ ଚିତ୍ର ୨୪·୨ରେ ∈ର ଅନେକ ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ବିନ୍ଦୁଗୁଡ଼ିକ ଫ୍ରେଡ୍ରିକ ଓ ଗୋଲ୍ଡହାବର $0{\cdot}14A^\circ$ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟର କାର୍ବନ ଦ୍ୱାରା ବିକ୍ଷୁରଣ ପାଇଁ ପାଇଥିଲେ ।

ଯେତେବେଳେ $\in(1-\cos\theta)>>1$, ଆପତନ ଫୋଟନଗୁଡ଼ିକ ପାର୍ଶ୍ୱୀଭୂତ ହେଲେ ମଧ୍ୟ ବିକ୍ଷୁରିତ ବିକିରଣ ଅଣପାର୍ଶ୍ୱୀଭୂତ ହୋଇଥାଏ ।



[ଚିତ୍ର ୨୪·୨ θ କୋଣରେ ବିକ୍ଷୁରିତ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛର $\theta=0$ ଠାରେ ବିକ୍ଷୁରିତ ତୀବ୍ରତା ପ୍ରତି ଅନୁପାତ $\in=h\nu/mc^2$ର ବିଭିନ୍ନ ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ]

ଏ କ୍ଷେତ୍ରରେ,

$$I_\theta = I_{\theta_1} + I_{\theta_{11}}$$

$$2I_{\theta_1} = \frac{I}{2r^2}\left(\frac{e^2}{4\pi\in_0 mc^2}\right)^2 \frac{1}{\in^2(1-\cos\theta)^2} \qquad (୨୪·୧୨)$$

ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଦ୍ୱାରା ବିକ୍ଷୁରଣ ହୋଇ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛରୁ ବହିଷ୍କୃତ ମୋଟ ପାଓ୍ୱାର P, ପାଇବା ପାଇଁ, କେବଳ I_θ କୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଚାରିପଟେ ଗୋଟିଏ

ଗୋଳକରେ ସମାକଳ କଲେ ଯଥେଷ୍ଟ ହେବନାହିଁ, କାରଣ ପ୍ରତ୍ୟେକ ବର୍ତ୍ତିତ ଫୋଟନର ଶକ୍ତି $h\nu$; କିନ୍ତୁ ବିଚ୍ଛୁରିତ ଫୋଟନର ଶକ୍ତି $h\nu_0$ । ତେଣୁ

$$P_s = \int_0^{\pi} I_\theta \frac{\nu}{\nu_0} 2\pi r^2 \sin\theta \, d\theta$$

ସମୀକରଣ (୨୪୮) ଓ (୨୪୯)କୁ ବ୍ୟବହାର କରି P_s ବାହାର କରାଯାଇ ପାରିବ ଓ ଏଥିରୁ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍ ବିଚ୍ଛୁରଣ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ σ_s ବାହାର କରାଯାଇ ପାରିବ ।

$$\sigma_s = \frac{P_s}{I} = 2\pi\left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 mc^2}\right)^2 \left\{\frac{1+\epsilon}{\epsilon^2}\right.$$
$$\left[\frac{2(1+\epsilon)}{1+2\epsilon} - \frac{1}{\epsilon} ln(1+2\epsilon\right]$$
$$\left. + \frac{1}{2\epsilon} ln(1+2\epsilon) - \frac{1+3\epsilon}{(1+2\epsilon)^2}\right] \qquad (୨୪୧୦)$$

$\epsilon >> 1$ ପାଇଁ, ସମୀକରଣ (୨୪·୧୦)କୁ ϵରେ ଶକ୍ତି ଶ୍ରେଣୀରେ ପ୍ରସାରଣ କରାଯାଇ ପାରିବ ।

$$\sigma_s = \frac{8\pi}{3}\left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 mc^2}\right)^2 (1 - 2\epsilon + 5.2\epsilon^2$$
$$- 13.3\epsilon^3 + \cdots) \qquad (୨୪·୧୦କ)$$

$\epsilon \to 0$ ହେଲେ ଏହା ଥମସନ୍ ପ୍ରଦତ୍ତ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦରେ ପରିଣତ ହୋଇଯିବ । $\epsilon >> 1$ ପାଇଁ ସମୀକରଣ (୨୪·୧୦) ହେବ,

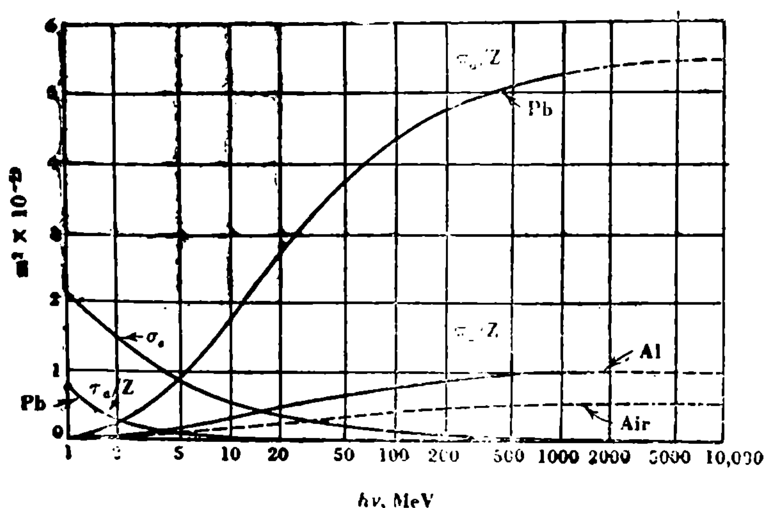
$$\sigma_s = \frac{8\pi}{3}\left(\frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 mc^2}\right)^2 \frac{3}{8\epsilon} ln(2\epsilon + \tfrac{1}{2}) \qquad (୨୪·୧୦ଖ)$$

ତେଣୁ $h\nu >> mc^2$ ହେଲେବେଳେ ବିଚ୍ଛୁରଣ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ ପ୍ରାୟ ଫୋଟନ ଶକ୍ତିକୁ ବ୍ୟୁତ୍କ୍ରମ ଅନୁପାତୀ ହୋଇଥାଏ ।

K – ପ୍ରକୋଷ୍ଠର ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତିଠାରୁ ଅତ୍ୟଧିକ ଶକ୍ତିସମ୍ପନ୍ନ ଫୋଟନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ସମସ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ମୂଳତଃ ମୁକ୍ତ ବୋଲି ଜଣାଯାଏ, ସମସ୍ତେ ମୂଳତଃ ସମପରିମାଣରେ ଓ ସମଛନ୍ଦରେ ସମୀକରଣ (୨୪·୧୦) ଅନୁସାରେ ବିଚ୍ଛୁରିତ ହୋଇଥାନ୍ତି । ଫଳତଃ ଚୌଣସି

ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥର ପାରମାଣବିକ ବିଚ୍ଛୁରଣ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ $\sigma_a = Z\ \sigma_e$ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ । ସେହିପରି, ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁର ସରଳରୈଖିକ ବିଚ୍ଛୁରଣାଙ୍କ କେବଳ $n\sigma_e$ ହେବ, ଏଠାରେ n ଗୋଟିଏ ଏକକ ଆୟତନ ମୋଟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସଂଖ୍ୟା ବୁଝାଇଥାଏ ।

(ଗ) **ଯୁଗଳ ଉତ୍ପାଦନ :** ଯୁଗଳ-ଉତ୍ପାଦନ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ $h\nu < 1{\cdot}02\,meV$ ପାଇଁ ଶୂନ୍ୟରୁ ଅତି ଉଚ୍ଚଶକ୍ତିମାନଙ୍କ ପାଇଁ ହ୍ରାସାଙ୍କରେ ପ୍ରଧାନ ଅଂଶ ଗ୍ରହଣ କରିବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ବଢ଼ିଯାଇଥାଏ । $h\nu < 50\ meV$ ପାଇଁ ପାରମାଣବିକ ଯୁଗଳଉତ୍ପାଦନ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ z^2କୁ ଅନୁପାତୀ ହୋଇଥାଏ । ଫୋଟନ ଶକ୍ତି ଦେହଳିର ମୂଲ୍ୟଠାରୁ ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ, ପ୍ରଥମେ π_a ଅଳ୍ପ ଅଳ୍ପ ବଢ଼େ ଓ ତାପରେ ଶକ୍ତି ବୃଦ୍ଧି ସଙ୍ଗେ ଅଧିକ କ୍ଷିପ୍ର ଗତିରେ



[ଚିତ୍ର ୧୪.୩ ଉଚ୍ଚଶକ୍ତି ଫୋଟନମାନଙ୍କର ଲେଡ୍, ଆଲୁମିନିୟମ ଓ ବାୟୁ ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ସହିତ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ପାଇଁ ଆଣ୍ବିକ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ (Zକୁ 7·26 ବାୟୁ ପାଇଁ ନିଆଯାଇଅଛି) । ତିନିଙ୍କ ପାଇଁ $\sigma_a = Z\sigma_e$ । ଫଟୋ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ τ_a କେବଳ Pu ପାଇଁ ଦେଖାଇଦିଆଯାଇଅଛି, ଆଲୁମିନିୟମ ଓ ବାୟୁ ପାଇଁ $h\nu > 1\ meV$ ପାଇଁ ଏହା ଅତି ସାମାନ୍ୟ]

ବଢ଼ିଥାଏ । ଶେଷରେ ନେଽଡେଇ ଶଡଇ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ସ୍କ୍ରିନ୍‌ଟଠାରେ ମୁକ୍ତତା ଗୋଟିଏ ଧ୍ରୁବ ମୂଲ୍ୟରେ ପହଞ୍ଚିଥାଏ । $h\nu >> 137$

m_0c^2/z^3 ପାଇଁ, ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ ହେଲା,

$$\kappa_a = \frac{Z^2}{137}\left(\frac{e^2}{4\pi \epsilon_0 mc^2}\right)^2\left(\frac{28}{9}\, ln \frac{183}{Z^{\frac{1}{3}}} - \frac{2}{27}\right) \quad (୨୪.୧୧)$$

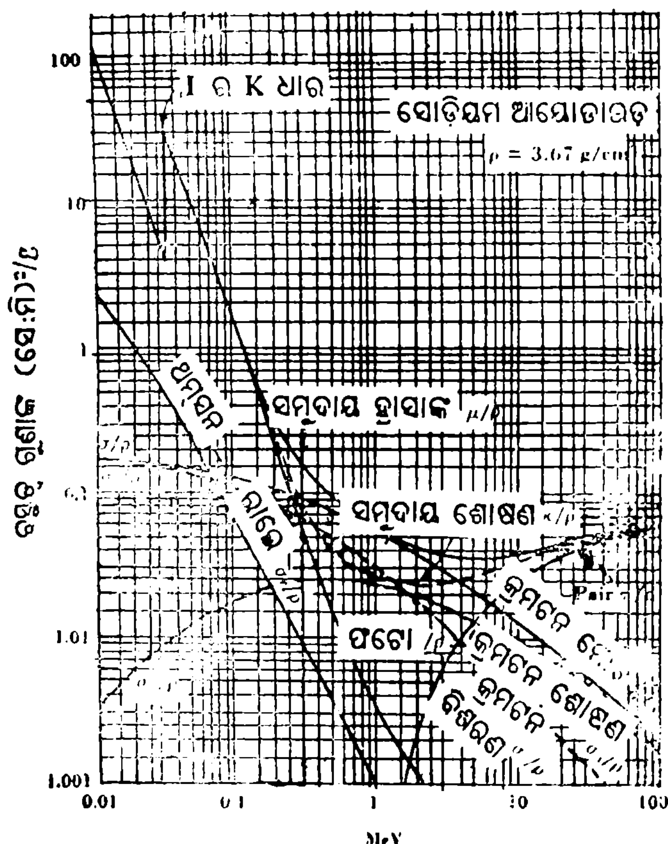
κ_aର ତାତ୍ତ୍ୱିକ ମୂଲ୍ୟକୁ zରେ ଭାଗ କରି ଅନେକଟି ବସ୍ତୁ ପାଇଁ ଚିତ୍ର ୨୪.୩ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି ।

ଗୋଟିଏ ଯୁଗ୍ମ ଉତ୍ପାଦନ କରିବା ପୂର୍ବରୁ ଗୋଟିଏ ଉଚ୍ଚଶକ୍ତି ଫୋଟନ ଯେଉଁ ହାରାହାରି ଦୂରତା ଦେଇ ଗତି କରିଥାଏ ତାହା $L=1/\kappa_a N$ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ, ଏଠାରେ N ହେଲା ଏକକ ଆୟତନ ମଧ୍ୟରେ ପାରମାଣିକ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ଗୁଡ଼ିକର ସଂଖ୍ୟା । L କେତେକ ମୂଲ୍ୟ ନିମ୍ନରେ ଦିଆଗଲା :

ଶକ୍ତି $h\nu$ meV	ଯୁଗ୍ମ-ଉତ୍ପାଦନର ହାରାହାରି ଦୂରତା Lcm.		
	ପ୍ରମାଣ ବାୟୁରେ	Alରେ	Pbରେ
25	9.8×10^4	27.4	1.25
100	5.9×10^4	17.0	0.86
1000	4.5×10^4	13.2	0.70

ହ୍ରାସାଙ୍କକୁ ଫୋଟନ ଶକ୍ତିର ଫଳନ ଭାବରେ ସମସ୍ତ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥରେ ଗ୍ରାଫ୍ ଟାଣିଲେ ସମସ୍ତ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥରେ $h\nu = 1$ meV ପାଇଁ କମିଥାଏ । ଫୋଟନ ଶକ୍ତି ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ, ଯୁଗ୍ମ-ଉତ୍ପାଦନର ଅବଦାନ କ୍ଷିପ୍ର ଗତିରେ ବଢ଼ିଯାଏ । ଏହା μ_aର ସର୍ବନିମ୍ନ ମୂଲ୍ୟ ଦେଇଥାଏ । ଏହି ମୂଲ୍ୟ ଯେଉଁ ଫୋଟନ ଶକ୍ତିଠାରେ ଘଟେ, ତାହା zର ମୂଲ୍ୟ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ । ଲେଡ୍ ପାଇଁ $h\nu \approx 3.5$meVଠାରେ, କପର ପାଇଁ ପ୍ରାୟ 10meVଠାରେ, ଆଲୁମିନିୟମ ପାଇଁ ପ୍ରାୟ 25 meVଠାରେ ଓ ବାୟୁ ପାଇଁ ପ୍ରାୟ 50meV ପାଖରେ ସର୍ବନିମ୍ନ ହ୍ରାସାଙ୍କ ମିଳିଥାଏ । ଫୋଟନ ହ୍ରାସାଙ୍କ ପ୍ରଣାଳୀକୁ

ସଂକ୍ଷେପରେ ପ୍ରକାଶ କରିବା ପାଇଁ ଚିତ୍ର ୨୪.୪ ସୋଡ଼ିୟମ ଆୟୋଡ଼ାଇଡର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ହ୍ରାସାଙ୍କ (ଏହା ସ୍ଫୁଲିଙ୍ଗ ଭେଦକ ପାଇଁ ବହୁ ପରିମାଣରେ ଦରକାର ହୋଇଥାଏ) ଦେଖାଇଅଛି । ଖଣ୍ଡ ରେଖା ଗୁଡ଼ିକ ପର ଅନୁଚ୍ଛେଦରେ ଆଲୋଚିତ ହୋଇଅଛି ।

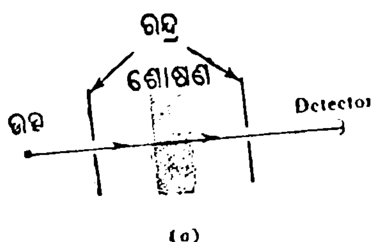


[ଚିତ୍ର ୨୪.୪ ସୋଡ଼ିୟମ ଆୟୋଡାଇଡ଼ ପାଇଁ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ହ୍ରାସାଙ୍କ । କମ୍ପଟନ ହ୍ରାସାଙ୍କର ବିକ୍ଷେପଣ ଓ ଶୋଷଣ ସଂଯୋଜକ ଏବଂ ମୋଟ ଶୋଷଣାଙ୍କ ଖଣ୍ଡ ରେଖାମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି]

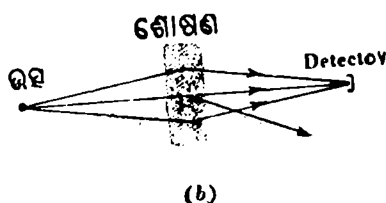
24·3 ଶୋଷଣ ବନାମ କ୍ଷୟ :

ଯେତେବେଳେ ଜଣେ ଭୌତିକଜ୍ଞ ତ୍ରାସାଙ୍କ ମାପ କରନ୍ତି, ଆଦର୍ଶ ପରୀକ୍ଷାରେ ତାଙ୍କର ଗୋଟିଏ ଅତି ସରୁ ଏକ ଶକ୍ତି ଫୋଟନଗୁଚ୍ଛର ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ଥାଏ (ଚିତ୍ର 14·1କ) ଓ ଯେତେଗୁଡ଼ିଏ ଫୋଟନ ସେହି ଏକା ଶକ୍ତିରେ ଓ ପ୍ରବେଶ କରିଥିବା ଦିଗରେ ବାହାରେ ନାହିଁ, ସେ ସମସ୍ତେ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛରୁ ବାହାର ଯାଇଛନ୍ତି ବୋଲି ସେ ବିଚାର କରନ୍ତି । ଏକ୍ଷେତ୍ରରେ ସରୁ-ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ବା ପରୀକ୍ଷାରେ ଉତ୍ତମ ଜ୍ୟାମିତିର ବ୍ୟବହାର କରାଯାଏ । ଅନ୍ୟ ପକ୍ଷରେ, ଯେଉଁ ପରୀକ୍ଷାରେ ବିଚ୍ଛୁରିତ ବା ଦ୍ୱିତୀୟସ୍ତରର କଣିକାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ଏକ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ଭଗ୍ନାଂଶ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ମଧ୍ୟରେ ରହି ଯାଏ (ଚିତ୍ର 14·1ଖ) ତାକୁ ଚଉଡ଼ା ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ବୋଲି କୁହାଯାଏ ବା ଏହାକୁ ମନ୍ଦ ଜ୍ୟାମିତି ବୋଲି କୁହାଯାଏ । ଗୋଟିଏ ଚଉଡ଼ା ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ବ୍ୟବସ୍ଥାରେ ଆପତନ ତୀବ୍ରତାରୁ ଅଧିକ ଭଗ ଶୋଷକକୁ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ଓ ଦିଗରେ ଛାଡ଼ି ଯାଇପାରେ । ଯେଉଁ ଫୋଟନଗୁଡ଼ିକ ବାହାରିଗଲେ ସେଗୁଡ଼ିକ ଶୋଷିତ ହୋଇ ନଥାନ୍ତି କାରଣ ସେମାନଙ୍କର ଶକ୍ତି ଶୋଷକ ବସ୍ତୁ ମଧ୍ୟରେ ନଥାଏ । ଯେଉଁସବୁ ପ୍ରଣାଳୀରେ ମୋଟ ତ୍ରାସାଙ୍କ ଗଠିତ ହୋଇଥାଏ, ଯଦି ଆମେ ସେସବୁ ପ୍ରଣାଳୀ ବିଚାରକୁ ନେଉ, ଆମେ ଦେଖୁ ଯେ, ଫଟୋବୈଦ୍ୟୁତିକ ଶୋଷଣରେ ଗୋଟିଏ ଫୋଟନ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛରୁ ପୁରାପୁରି ବାହାରିଯାଏ ଏବଂ ଏହାର ଶକ୍ତି ନିଷ୍କାସିତ ଫଟୋ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଗତିଜ ଶକ୍ତି, ଯୁକ୍ତ ସେହି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତି ସହ ଶକ୍ତି ସମୂହ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତିରେ ପରିଣତ ହୋଇଥାଏ । ଏଥିରେ ମଧ୍ୟ କେତେକ ପରମାଣୁ ଶୋଷକ ମଧ୍ୟରେ ଉତ୍ତେଜିତ ଅବସ୍ଥାରେ ରହିଯାଏ ଓ ଅଧିକ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ଫୋଟନ ବିକିରଣ କରିପାରେ । ଏହା ଚଉଡ଼ା ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ସଙ୍ଗେ ପୁଣି ମିଳିତ ହୋଇଥାଏ । ସେହିପରି, 10° ପରି ଗୋଟିଏ ଶ୍ରେଷ୍ଠ କୋଣରେ ବିଚ୍ଛୁରିତ ହେଉଥିବା ଗୋଟିଏ ଫୋଟନ ଗୋଟିଏ ଚଉଡ଼ା ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ପରୀକ୍ଷାରେ ଶୋଷକରୁ ବାହାରିଯାଇପାରେ, କିନ୍ତୁ ଉତ୍ତମ ଜ୍ୟାମିତିକ ପରୀକ୍ଷାରେ ଏହା ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ବାହାରି ଯାଇଅଛି ବୋଲି ବିଚାର କରିହେବ । ଯୁଗଳ-ଉତ୍ପାଦନ କଲା ଭଳି ଗୋଟିଏ ଉଚ୍ଚଶକ୍ତି ଫୋଟନ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛରୁ ବାହାରି ଯାଏ, କିନ୍ତୁ ଉଚ୍ଚଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଓ ପଜିଟ୍ରନ ବ୍ରେମଷ୍ଟ୍ରାଲଙ୍ଗ ଓ ବିନାଶକାରୀ ବିକିରଣ ଘଟାଇପାରେ । ଏହା ଚଉଡ଼ା ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛକୁ ବଢ଼ାଇ ଦେଇଥାଏ । ଏହାକୁ

ଗୋଟିଏ ନାଟକୀୟ ଉଦାହରଣ ନଭରଶ୍ମିରେ ଦେଖିବାକୁ ମିଳେ । ବହୁ ଉପରେ ଉପରେ ବାୟୁମଣ୍ଡଳର ଅତ୍ୟନ୍ତ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ଫୋଟନମାନଙ୍କର ଗୋଟିଏ ଫ୍ଲକ୍ସ ବା ଦ୍ୱିତୀୟସ୍ତର ନଭରଶ୍ମି ଦେଖାଦିଏ । ଯୁଗଳ ଉତ୍ପାଦନ ଦ୍ୱାରା ଏବଂ ତାପରେ ବ୍ରେମ୍ସଷ୍ଟ୍ରାଲଙ୍ଗ ଓ ବିନାଶକାରୀ ବିକିରଣ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରତ୍ୟେକ ଉଚ୍ଚଶକ୍ତି ଫୋଟନ ଧାରାବାହିକ ଭାବରେ ବହୁସଂଖ୍ୟକ ଅଳ୍ପ ଶକ୍ତି ଫୋଟନ ଓ ସଂଯୁକ୍ତ ଦ୍ୱିତୀୟ ସ୍ତର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ-ଯୁଗଳ ହୋଇଯାଏ । ଏହି ବଂଶଧରମାନେ ଅଧିକ ସହଜରେ ବାୟୁରେ ଶୋଷିତ ହୋଇ ପାରନ୍ତି; ଏହା ଫଳରେ ପ୍ରତି ଗ୍ରାମ ବାୟୁରେ ଶୋଷିତ ହୋଇଥିବା ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ନଭରଶ୍ମି ବାୟୁ ମଧ୍ୟର ତଳକୁ ଆସିବାବେଳେ ବହୁ ଅଞ୍ଚଳରେ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ଭାବରେ ବଢ଼ି ଯାଇଥାଏ, ଯଦିଓ ମୋଟ ଶକ୍ତି ତୀବ୍ରତା ପ୍ରକୃତରେ କମିଯାଇଥାଏ । (ପ୍ରତି ଏକକ କ୍ଷେତ୍ରଫଳର ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ ଆପତନ ଶକ୍ତି ପରିମାଣକୁ ମୋଟ ଶକ୍ତି ତୀବ୍ରତା କୁହାଯାଏ) । କମ୍ପଟନ ବିକ୍ଷୁରଣ ଓ ଯୁଗଳ ଉତ୍ପାଦନ, ଉଭୟରେ ଆପତନ-ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛର ଏକ ଅଂଶ ଶୋଷିତ ହୋଇଥାଏ ଓ ଶୋଷକ



(a)



(b)

[ଚିତ୍ର ୨୪.୫ (କ) ସରୁ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ଓ (ଖ) ଚଉଡ଼ା-ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛର ଜ୍ୟାମିତିର ଉଦାହରଣ]

ସ୍ତରର ତାପ ଆକାରରେ ଦେଖାଦିଏ । ଅଳ୍ପ ଗୋଟିଏ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ଅଂଶ ଦ୍ୱାରା ପାରଥିବା ଫୋଟନ ଶକ୍ତି ନେଇ ଭେଦ କରି ଚାଲିଯାଇଥାଏ ।

dx ବେଧ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ସ୍ତରରେ ଏକକ କ୍ଷେତ୍ରଫଳରେ ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ dI_{abs} ଶକ୍ତି ଶୋଷିତ ହେଲେ, ସେହି ସ୍ତରରେ ପହଞ୍ଚୁଥିବା ତୀବ୍ରତା I କୁ ଏହା ଅନୁପାତୀ ହେଉଥାଏ; ତେଣୁ

$$\vec{dI}_{abs} = k\, \vec{I}\, dx \qquad (୨୪.୧୨)$$

ଏଠାରେ k ହେଲା ସରଳରୈଖିକ ଶୋଷଣାଙ୍କ । k ଯେ ସରଳରୈଖିକ ହ୍ରାସାଙ୍କଠାରୁ ସାନ, ଏହା ସ୍ପଷ୍ଟ, କାରଣ ପରୋକ୍ଷଭାବରେ ସମସ୍ତ ବିଚ୍ଛୁରିତ ଫୋଟନର ଶକ୍ତି ମାଗଙ୍କୁ ଉତ୍ତେଜିତ ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ଦ୍ୱିତୀୟସ୍ତର ଫୋଟନ, ହାଲ ବ୍ରେମ୍‌ଷ୍ଟ୍ରାଲଙ୍ଗ, ହାଲ ବିନାଶ ସବୁ ହିସାବକୁ ନେଇଥାଏ । 1·5meV ମୋଟାର ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଫୋଟନ ପାଇଁ ଗୋଟିଏ କମ୍ପଟନ୍ ବିଚ୍ଛୁରିତ ଫୋଟନର ପ୍ରାପ୍ୟ ଅର୍ଦ୍ଧେକ ଶକ୍ତି ଗଡ଼ରେ ଶୋଷିତ ହୋଇଥାଏ ଓ ଅର୍ଦ୍ଧେକ ରଶ୍ମି ଗୁଚ୍ଛରେ ରହିଥାଏ । ଚିତ୍ର ୨୪·୪ରେ ଖଣ୍ଡରେଖା k/ρ ଦେଖାଉଛି ଓ କପର ଶୋଷଣ ଓ ବିଚ୍ଛୁରଣ ଫୋଟନମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ କମ୍ପଟନ ଅଙ୍କ ଭାଗ ଭାଗ ହୋଇଥାଏ, ଦେଖାଉଅଛି ।

ଗୋଟିଏ ଜୀବନ୍ତ ସ୍ପେସିମେନ ବା ଗୋଟିଏ ପ୍ରାଣହୀନ ବସ୍ତୁରେ (ଯଥା : ଗୋଟିଏ ଚୋଟିଏ ଅର୍ଦ୍ଧ ପରିବାହୀ କୁଣ୍ଡଳୀ) ଉତ୍ପନ୍ନ ହେଉଥିବା ଧ୍ୱଂସ ମୂଳତଃ ପ୍ରତି ଏକକ ଆୟତନରେ ବିଚ୍ଛିନ୍ନ ହେଉଥିବା ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ, ଏହା ମୋଟ ଆପତନ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେନାହିଁ । ପ୍ରକୃତରେ, ଯେଉଁ ଫୋଟନଗୁଡ଼ିକ ସ୍ପେସିମେନ ସହିତ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ନଘଟାଇ ସେଥି ମଧ୍ୟଦେଇ ଚାଲି ଯାଆନ୍ତି, ତାହା କୌଣସି ଧ୍ୱଂସ ଘଟାଇ ନଥାଏ । ବିକିରଣ ଧ୍ୱଂସ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଆଲୋଚନା କରିବା ପାଇଁ ଫୋଟନ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛକୁ ଅନାବୃତ ହୋଇ ରହିଥିବା ସାମ୍ପଲ ପାଇଁ ପ୍ରତି ଏକକ ବସ୍ତୁତ୍ୱରେ ପ୍ରତି ଏକକ ସମୟରେ ଶୋଷିତ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ବା ଡୋଜହାର ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଆଲୋଚନା ସୁବିଧାଜନକ ।

ଡାକ୍ତରୀ କାର୍ଯ୍ୟରେ ରୋଗୀ ଉପରେ ପଡ଼ୁଥିବା ମୋଟ ଏକ୍ସରେ ଶକ୍ତି କ୍ୱଚିତ୍ ବିଚାରକୁ ନିଆଯାଏନାହିଁ; କିନ୍ତୁ ରୋଗୀର ଏକକ ଆୟତନରେ ଶୋଷିତ ହୋଇଥିବା ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ପ୍ରଧାନ । ତେଣୁ ଏକ୍ସରେର ଗୋଟିଏ ଏକକ ଡୋଜ (ଏହାକୁ ରଣ୍ଟଜନ କୁହାଯାଏ) 1937ରେ ରେଡ଼ିଓ ଲଜିର ପଞ୍ଚମ ଆନ୍ତର୍ଜାତିକ କଂଗ୍ରେସରେ ସ୍ୱୀକୃତିକ୍ରମେ ଜନ୍ମମତେ ସଜ୍ଞା ପାଇଥିଲା ।

ରଣ୍ଟଜନ ହେବ ସେଇ ପରିମାଣର ଏକ୍ସ ବା ଗାମା-ବିକିରଣ, ଯାହାର ଅନୁରୂପ କଣିକା ବିକିରଣ ପ୍ରତି 0·00123g ଶୁଷ୍କ ବାୟୁରେ (ବୁଇଟିରୁ) ଗୋଟିଏ ଚିହ୍ନଯୁକ୍ତ ବିଦ୍ୟୁତର ଏକ ଷ୍ଟେର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଏକକ ବହନ କରୁଥିବା ଆୟନ ଉତ୍ପନ୍ନ କରିପାରିବ ।

ଏହି ସଙ୍ଖ୍ୟା ସମ୍ବନ୍ଧରେ କେତେ ପଦ କହିବା ଦରକାର । ଅବଶ୍ୟ, $0.00123g$ ହେଉଛି $1cm^3$ ଶୁଷ୍କ ବାୟୁର $0°c$ ଓ $760mm$ H_g ଚାପରେ ହେଉଥିବା ବସ୍ତୁତ୍ୱ । ସମ୍ପୃକ୍ତ କଣିକା ବିକିରଣ ଏକ୍‌ସରେଦ୍ୱାରା ଉତ୍ପନ୍ନ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକୁ ବୁଝାଉଛି । ଆୟନନର ସର୍ବାଧିକ ଭଗ୍ନାଂଶ ଦ୍ୱିତୀୟ ସ୍ତରର ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଥାଏ, ସିଧାସଳଖ ଫୋଟନମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ହୋଇ ନଥାଏ; ଏହି ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଉତ୍ପନ୍ନ ସମସ୍ତ ଆୟନନ ସଂଗ୍ରହ କରିବାକୁ ହେବ । ଗୋଟିଏ ସରଳ ଆୟନନ ପ୍ରକୋଷ୍ଠରେ $1cm^3$ ଗ୍ୟାସ ମଧ୍ୟରେ ଉତ୍ପନ୍ନ କେତେକ ଫଟୋ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଏହି ଆୟତନକୁ ଛାଡ଼ି ଚାଲିଯିବେ ଓ ପ୍ରକୋଷ୍ଠର ଅନ୍ୟ ଅଂଶରେ ସେମାନଙ୍କର ଆୟନନରେ ଅଂଶ ବିଶେଷ ସୃଷ୍ଟି କରିବେ । ଏହି ଆୟନଗୁଡ଼ିକ ସଂଗ୍ରହ କରି ଗଣିବାକୁ ହେବ । ଏହା କରିବାପାଇଁ $1cm^3$ ଶୁଷ୍କ ବାୟୁର ଗୋଟିଏ ଆୟତନ ନେଇ ଆୟନନ ପ୍ରକୋଷ୍ଠଟିଏ କରି, ସେଥିରେ ହେଉଥିବା ଆୟନନକୁ ସଂଗ୍ରହ କଲେ ହେବନାହିଁ, କାରଣ ଏକ୍ଷେତ୍ରରେ କେତେକ ଫଟୋ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ କାନ୍ଥରେ ବାଧା ପାଇବେ ଓ ଦ୍ୱିତୀୟ ସ୍ତର ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ୍ ସୃଷ୍ଟି କରିବେ ଏବଂ ଏଗୁଡ଼ିକ ଗଣି ହୋଇଯିବେ । ଏହି ଦ୍ୱିତୀୟ ସ୍ତର ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ସବୁ ସଂପୃକ୍ତ କଣିକା ବିକିରଣ ଦ୍ୱାରା ଉତ୍ପନ୍ନ ଆୟନ ନୁହନ୍ତି । ଗୋଟିଏ ଡୋଜ ମାପକର ବିଶ୍ୱାସଯୋଗ୍ୟ ଗଠନ ପାଇଁ ଅତି ସାବଧାନ ହୋଇ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ବିଷୟ ମଧ୍ୟରେ ସମତୁଲ କରିବାକୁ ହୋଇଥାଏ ।

$100KeV$ ଶକ୍ତିର ଫୋଟନଗୁଡ଼ିକ $100-MeV$ ଫୋଟନମାନଙ୍କ ଅପେକ୍ଷା ଅତ୍ୟଂନ୍ତ ସହଜରେ ଶୋଷିତ ହୋଇ ପାରୁଥିବାରୁ, ଯେଉଁ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛରେ ଏକରଙ୍ଗୀ $100KeV$ ଓ $100MeV$ ଫୋଟନର ସମତୀବ୍ରତା ଥାଏ, ସେମାନେ ସମାନ ଡୋଜହାର ଦେଇ ନଥାନ୍ତି, $100KeV$ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ପ୍ରତି ଏକକ ସମୟରେ ବହୁତ ଅଧିକ ରଞ୍ଜନ (r)ର ଦେଇଥାଏ । ଗୋଟିଏ $200kV$ ଏକ୍‌ସରେ ନଳୀରୁ ପ୍ରାପ୍ତ $500r$ର ଗୋଟିଏ ଡୋଜ ଜଣେ ସାଧାରଣ ଲୋକର ଚମଡ଼ାକୁ ଲାଲ କରିଦେବା ପାଇଁ ଯଥେଷ୍ଟ ହୋଇଥାଏ । ଏହାକୁ ଦେହଳୀ ଚର୍ମଦାହ ଡୋଜ ଭାବରେ ଜଣାଯାଇଥାଏ । ସମସ୍ତ ଶରୀର ଉପରେ $700r$ର ଗୋଟିଏ ଡୋଜ ଯେବେ ଲୋକଙ୍କ ଉପରେ ପଡ଼ିଯିବ, ସେମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ଅର୍ଦ୍ଧେକଙ୍କର ମୃତ୍ୟୁ ଘଟାଇବା ପାଇଁ ଏହା ଯଥେଷ୍ଟ ହେବ, ଏହି କାରଣରୁ ଏହାକୁ ମଧ୍ୟବର୍ତ୍ତୀ ମାରାତ୍ମକ ଡୋଜ ବୋଲି କୁହାଯାଏ ।

ଫୋଟନଗୁଡ଼ିକ ବାୟୁ ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଗତି କଲବେଳେ ରଣ୍ଟଜେନର ସଂଜ୍ଞା ଦିଆଯାଇ ଥିବାରୁ ଏହା ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଭାବରେ ଜୀବ ପ୍ରଭାବକୁ ନେଇ କିଛି ସୂଚାଇନାହିଁ, ଏହି ଅର୍ଥରେ ବୁଝିଲେ ଉଚ୍ଚ ଶକ୍ତି ଫୋଟନଗୁଡ଼ିକୁ ଅନାବୃତ ଡୋଜରେ ରଣ୍ଟଜନ ଗୋଟିଏ ମାପ । ଗୋଟିଏ ଜୀବ ସ୍ପେସିମେନରେ ଏହାର ପ୍ରଭାବ ଗୋଟିଏ ଶୋଷିତ ଡୋଜ ନେଲେ ଉତ୍ତମରୂପେ ପ୍ରକାଶିତ ହେବ, ଏଥିପାଇଁ ସାଧାରଣରେ ବ୍ୟବହୃତ ଏକକ ହେଉଛି ରାଡ଼* । ରାଡ଼ ହେଲା ଯେକୌଣସି ଉଚ୍ଚଶକ୍ତି ବିକିରଣର ଶୋଷିତ ଡୋଜ ଯାହା ସହିତ ଶୋଷକ ବସ୍ତୁର ପ୍ରତି ଗ୍ରାମରେ (ବା 0·01J/*kg*) 100*erg* ଶକ୍ତିର ନିଷ୍କାସନ ସଂଯୁକ୍ତ ଥାଏ । 0·3 ଓ *me*V ଶକ୍ତି ମଧ୍ୟବର୍ତ୍ତୀ ଫୋଟନମାନଙ୍କ ପାଇଁ 1*r*ର ଅନାବୃତ ଡୋଜ ତନ୍ତୁ ମଧ୍ୟରେ 1*rad* ଶୋଷିତ ଡୋଜର ନିକଟ ଅନୁରୂପ ହୋଇଥାଏ ।

ଯଦି ସମସ୍ତ ଆୟନକ ବିକିରଣ ଦ୍ୱାରା ଜୀବ ପ୍ରଭାବ ଉତ୍ପନ୍ନ ହୋଇଥାଏ କୌଣସି କାର୍ଯ୍ୟ ପାଇଁ ଶୋଷିତ ଡୋଜ ରାଡ଼ ଏକକରେ ବିଭିନ୍ନ ପ୍ରକାରର ବିକିରଣ ପାଇଁ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ହୋଇଥାଏ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ଆଖିରେ ପରଳ ସୃଷ୍ଟି କରିବା ପାଇଁ 1 ରାଡ଼ର ନିଉଟ୍ରନ 1 ରାଡ଼ର ଏକ୍ସରେ ଅପେକ୍ଷା ଅଧିକ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହେବ । ପ୍ରତିସ୍ଥାନେ ଏହି ତାରତମ୍ୟ ଲାଗି ଆପେକ୍ଷିକ ଜୀବ କାର୍ଯ୍ୟକାରିତା (*RBE*)ର ଧାରଣା ଗ୍ରହଣ କରିବାକୁ ହୋଇଥାଏ । ଏହା ଯେକୌଣସି ବିକିରଣ ପାଇଁ ରାଡ଼ରେ ଶୋଷିତ γ ରଶ୍ମି ଡୋଜର ସମ ପରିମାଣର ଜୀବ ପ୍ରଭାବ ସୃଷ୍ଟି କଲା ଭଳି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ବିକିରଣର ପରିମାଣ ସହିତ ଅନୁପାତ ଦ୍ୱାରା ବୁଝାଯାଇଥାଏ । ଜୀବ ପ୍ରଭାବର ଡୋଜ ଏକକକୁ ରେମ୍ (*rem*) ବୋଲି କୁହାଯାଏ (ଏହା *roentgn equivalent mammal* ବା ରଣ୍ଟଜନ ସମତୁଲ ପ୍ରାଣୀକୁ ବୁଝାଯାଇଅଛି) । ଏଠାରେ ରେମରେ ଡୋଜ = $RBE \times$ ରାଡ଼ରେ ଡୋଜ ।

---

* ଏକ ପୁରାତନ ଏକକ— rep ବା *roentgen equivalent physical* (ରଣ୍ଟଜନର ସମକକ୍ଷ ଭୌତିକ) 97 ergs/*g* କୋଷର ତନ୍ତୁର ନିଷ୍କାସନର ଅନୁରୂପ ।

24·4 ଗୁରୁ କଣିକାମାନଙ୍କର ଶକ୍ତି କ୍ଷୟ :

ଯେତେବେଳେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ତୁଳନାରେ ଅଧିକ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବିଶିଷ୍ଟ ଚାର୍ଜ କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ବସ୍ତୁ ମଧ୍ୟରେ ଗତି କରେ, ଏହା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ସହିତ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକୀୟ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଦ୍ୱାରା ଶକ୍ତି ହରାଏ । ଏଥିରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଉତ୍ତେଜିତ ଅବସ୍ଥାକୁ ଚାଲିଯାଏ ବା ପରମାଣୁମାନଙ୍କରୁ ଛିଡ଼ିଯାଏ । ପାରମାଣବିକ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ସବୁ ପାରମାଣବିକ ପରିମାଣଗୁଡ଼ିକ ତୁଳନାରେ ଏତେ ସାନ ଯେ, ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ବିକ୍ଷେପଣ ଓ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ସହିତ କ୍ରିୟା ତୁଳନାରେ କ୍ୱଚିତ ଘଟିଥାଏ; ତେଣୁ ପ୍ରଥମ ଅବସ୍ଥାରେ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ପ୍ରକ୍ରିୟାଗୁଡ଼ିକୁ ଅବହେଳା କରାଯାଇପାରେ ।

1913ରେ ପୁରାତନ ବଳବିଦ୍ୟା ଅନୁସାରେ ବୋର୍ ଗୋଟିଏ ଚାର୍ଜଯୁକ୍ତ କଣିକା ପାଇଁ ଶକ୍ତି କ୍ଷୟର ହାରାହାରି ହାରର ଗୋଟିଏ ଉକ୍ତି ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ କରିଥିଲେ । ଗୋଟିଏ α-କଣିକା ବା ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନ ପରି ଗୋଟିଏ ଗୁରୁ କଣିକା ସେ ବିଷୟକୁ ନେଇଥିଲେ । ଏହାର ଚାର୍ଜ ze, ବସ୍ତୁତ୍ୱ M ଓ ଗତିବେଗ V । ଏହା ଗୋଟିଏ m ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବିଶିଷ୍ଟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଠାରୁ b ଦୂରରେ (ଚିତ୍ର ୨୪·୭କ) ଗତି କରୁ । ବୋର୍ ଅନୁମାନ କଲେ ଯେ, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ଏତେ ଆସ୍ତେ ଆସ୍ତେ ଗତି କରୁଥିଲା ଯେ ଗୁରୁ କଣିକାଟି ତା ପାଖ ଦେଇ ଚାଲିଗଲାବେଳେ ଏହା ମୂଳତଃ ଏକା ସ୍ଥାନରେ ଥିଲା ବୋଲି ଅନୁମାନ କରାଯାଇପାରିବ (ଏହା ସ୍ପଷ୍ଟ ଯେ, ଯଦି ଆପତନ କଣିକାର ବେଗ ସହ ତୁଳନୀୟ କୌଣସି ବେଗ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଥାଏ, ତେବେ ଏ ଅନୁମାନ ସତ୍ୟ ହେବନାହିଁ) । ଗୁରୁ କଣିକାଟି ଗତି କଲାବେଳେ, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଉପରେ କାର୍ଯ୍ୟ କରୁଥିବା ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ବଳ ଅବିରତ ଦିଗ ପରିବର୍ତ୍ତନ କରୁଥାଏ; କିନ୍ତୁ ଗୁରୁ କଣିକାଟି ଗତି କଲାବେଳେ ଯଦି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ସାମାନ୍ୟ ମାତ୍ର ଗତି କରିଥାଏ, ତେବେ ପଥକୁ ସମାନ୍ତର ଉପରେ ଆବେଗ $\int F_x dt$ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ଅନୁସାରେ ଶୂନ୍ୟ ହେବ, କାରଣ $-x$ ଦିଗରେ ଆପତନ କଣିକାର ପ୍ରତ୍ୟେକ ଅବସ୍ଥାନ ପାଇଁ $+x$ ଦିଗରେ ଗୋଟିଏ ଅନୁରୂପ ଅବସ୍ଥାନ ରହିଅଛି, ଯାହାକି ସଂକେତର x ସଂଯୋଜକକୁ ସମରେଖାରେ ବିପରୀତ ଚିହ୍ନ ପ୍ରଦାନ ଦେଇଅଛି । କିନ୍ତୁ, ସମସ୍ତ ଗତିପଥ ମଧ୍ୟରେ, y

ଦିଗରେ ଗୋଟିଏ ବଳ ରହୁଅଛି ଏବଂ ଏହାର ସଂପୃକ୍ତ ଆବେଗ I_y ହେଲା.

$$I_y = \int_{-\infty}^{\infty} F_y\, dt = \int_0^{\pi} \frac{Ze^2 \sin\theta\, dx}{4\pi \in_0 r^2 V}$$

$$= \int_0^{\pi} \frac{Ze^2 \sin\theta\, d\theta}{4\pi \in_0 bV}$$

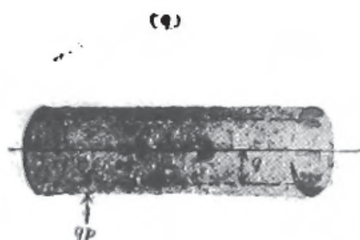
କାରଣ $x = -b \cot\theta$ ଓ $dx = (bd\theta)/(\sin^2\theta)$ ।

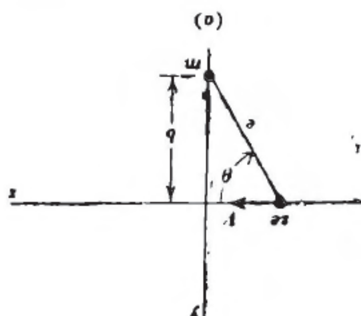
ତେଣୁ, ସମସ୍ତ ପଥ ମଧ୍ୟରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନକୁ ଅନୁପ୍ରସ୍ଥ ହେଲା

$$P = I_y = \frac{Ze^2}{2\pi \in_0 bV} \qquad (୨୪'୧୩)$$

ଯଦି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ଆପେକ୍ଷିକୀୟ ଗତିବେଗ ଲାଭ କରି ନଥାଏ, ତେବେ ଗତିଜ ଶକ୍ତି ହେବ

$$K = \frac{p^2}{2m} = \frac{Z^2 e^4}{8\pi^2 \in_0^2 b^2 m V^2} \qquad (୨୪'୧୪)$$





[ଚିତ୍ର ୨୪·୨ (କ) ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନକୁ b ଦୂରତାରେ Ze ଚାର୍ଜଯୁକ୍ତ ଗୋଟିଏ ଗୁରୁ କଣିକା ଅତିକ୍ରମ କରୁଅଛି । (ଖ) b ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ, ପ୍ରକୋଷ୍ଠର ବେଧ db, ଏହାର ଅକ୍ଷ ଗୁରୁ ଚାର୍ଜ କଣିକାର ଗତିପଥ]

ଗୁରୁ କଣିକାଟି ଦ୍ୱାରା ଏକକ ପଥ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ମଧ୍ୟରେ କ୍ଷୟ ହେଉଥିବା ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ହିସାବ କରିବା ପାଇଁ, ଆମେ ଲକ୍ଷ୍ୟ କରୁଛୁ ଯେ, ଏକକ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ମଧ୍ୟରେ ଯେଉଁ ସଂଘର୍ଷଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ bର ମୂଲ୍ୟ b ଓ $b+db$ ମଧ୍ୟରେ ରହେ, ସେଗୁଡ଼ିକର ସଂଖ୍ୟା b ଓ $b+db$କୁ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ନେଇ ସିଲିଣ୍ଡରଗୁଡ଼ିକ ଦ୍ୱାରା ଆବଦ୍ଧ ପ୍ରକୋଷ୍ଠରେ ଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ସହ ସମାନ (ଚିତ୍ର ୧୪·୬ଖ) । ଯଦି ଏକକ ଅୟତନ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ-ମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା n ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୁଏ, ପ୍ରକୋଷ୍ଠ ମଧ୍ୟରେ ଏକକ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ମଧ୍ୟରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ହେବ $2\pi bn\, db$ ଓ ଏହି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ଲାଗି ଶକ୍ତି କ୍ଷୟ ହେଲା,

$$-\frac{dE\,(b)}{dx}\,db=\frac{Z^2e^4n}{4\pi\epsilon_0{}^2bmV^2}\,db.$$

କିନ୍ତୁ b_{max} ଓ b_{min} ପରସର ମଧ୍ୟରେ ସମସ୍ତ ପ୍ରକୋଷ୍ଠରେ ଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କୁ ଗୁରୁ କଣିକାର ଏକକ ପଥ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ମଧ୍ୟରେ ହରାଉଥିବା ମୋଟ ଶକ୍ତି ହେଲା,

$$-\frac{dE}{dx}=\int_{b_{min}}^{b_{max}}-\frac{dE\,(b)}{dx}db$$

$$=\frac{Z^2e^4n}{4\pi\epsilon_0{}^2mV^2}\,ln\,\frac{b_{max}}{b_{min}} \qquad (୧୪·୧୫)$$

ସମୀକରଣ (୧୪·୧୫)ରେ ଥରେ ଆଖି ପକାଇଲେ କାହିଁକି ଯେ db ଉପରେ ସମାକଳ ଶୂନ୍ୟଠାରୁ ଅନନ୍ତ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ନିଆଗଲା ନାହିଁ, ଜଣା ପଡ଼ିଯିବ; ଯଦି ଏହା କରାଯାଇଥାନ୍ତା, ଏକକ ପଥଦୈର୍ଘ୍ୟ ମଧ୍ୟରେ ଶକ୍ତି କ୍ଷୟ ଅନନ୍ତ ହୁଅନ୍ତା । b_{min} ଓ b_{max}ର ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ମୂଲ୍ୟ ବାଛିବା ବର୍ତ୍ତମାନ ଆମକୁ ଆହ୍ୱାନ । b_{min} ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ସାର୍ଥକ ମୂଲ୍ୟ ବାଛିବା ପାଇଁ ଆମେ ଦେଖୁଛୁ ଯେ, ଯେବେ ଗୁରୁ କଣିକାଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସହିତ ମୁହାଁମୁହିଁ ଧକ୍କା ଲଗିଯାଏ, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଲାଭ କରି ପାରୁଥିବା ସର୍ବାଧିକ ଗତି ହେବ 2V, କାରଣ ଗୋଟିଏ ସ୍ଥିତି ସ୍ଥାପକ ସଂଘର୍ଷରେ ପୃଥକ ହେବାର ଆପେକ୍ଷିକ ଗତିବେଗ ସାନ୍ନିଧ୍ୟର ଗତିବେଗ ସହିତ ସମାନ । ଅନୁରୂପ ସର୍ବାଧିକ ଗତିଜ ଶକ୍ତି (ଗୋଟିଏ ଅଣ-ଆପେକ୍ଷିକ V

ପାଇଁ) ହେବ $K_{max} = \frac{1}{2}m(2V)^2 = 2mV^2$ । ଯଦି ସମୀକରଣ (୨୪·୨୪)ରେ K_{max}ର ଏହି ମୂଲ୍ୟ ବସାଯାଏ, ଅନୁରୂପ b_{min} ହେବ,

$$b_{min} = \frac{Ze^2}{4\pi \epsilon_0 mV^2} \qquad (୨୪·୨୬)$$

ଯଦି b_{max}କୁ ଅନନ୍ତ ହେବାକୁ ଛାଡ଼ି ଦିଆଯାଏ, $-dE/dx$ ଅନନ୍ତ ହୋଇଯିବ, କାରଣ ବହୁ ଦୂରସ୍ଥ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କୁ ଅଳ୍ପ ଅଳ୍ପ ପରିମାଣର ଶକ୍ତିର ଅସୀମ ସଂଖ୍ୟକ ଅବଦାନ ଦିଆଯାଏ । କିନ୍ତୁ ଗୋଟିଏ ପାରମାଣବିକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗ୍ରହଣ କରି ପାରୁଥିବା ନ୍ୟୂନତମ ଶକ୍ତି ହେଉଛି ଗୋଟିଏ ଅନନ୍ୟ ଉତ୍ତେଜନ ସ୍ତରକୁ ନେଇ ପାରିବା ଧରନର । ଯଦି ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ହାରାହାରି ଉତ୍ତେଜିତ ଶକ୍ତି I ଦ୍ୱାରା ସୂଚିତ ହୁଏ ଏବଂ ଆମେ $K_{min} = I$ ନେଉ, ଆଉ ପାଉ

$$b_{max} = \frac{Ze^2}{2\pi \epsilon_0 \sqrt{2mV^2 I}} \qquad (୨୪·୨୭)$$

ସମୀକରଣ (୨୪·୨୬) ଓ (୨୪·୨୭) ଯେତେବେଳେ ସମୀକରଣ (୨୪·୨୫)ରେ ବସାଯାଏ, ଆମେ ପାଉ

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{Z^2e^4n}{4\pi \epsilon_0^2 mV^2} ln \frac{2mV^2}{I} \qquad (୨୪·୨୮)$$

ଅବଶ୍ୟ ଏହି ଫଳ ଗୋଟିଏ ସ୍ଥୂଳ ଆସନ୍ନ । b_{min} [ସମୀକରଣ (୨୪·୨୬)] ପାଇଁ ମୂଲ୍ୟ କେବଳ ଅଣଆପେକ୍ଷିକ ଲିମିଟ୍‌ରେ ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ଓ କେବଳ ଯେତେବେଳେ ଗୁରୁ କଣିକାର କୁଲମ୍ବକ୍ଷେତ୍ର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନକୁ ବୁଝାଉଥିବା ତରଙ୍ଗଥାଳ ଉପରେ ମୂଳତଃ ଧ୍ରୁବ ରହେ ସେତେବେଳେ ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ । ଏହି ଥାଳର ଆକାର ପ୍ରାୟ $\lambda/2\pi$, ଏଠାରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟିର ଡିବ୍ରଗଲି ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ । ବ ବୃନ୍ଦେନ୍ଦ୍ର ଫ୍ରେମ୍‌ରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ବେଗ ପ୍ରାୟ V ଓ ଏହାର ତଦନୁରୂପ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ହେଲା

$\lambda = h\sqrt{1 - V^2/c^2}/mV$, ଏଠାରେ m ହେଲା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ସ୍ଥିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ । କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଯାନ୍ତ୍ରିକ ଅନୁସାରେ, କେବଳ bର ମୂଲ୍ୟଗୁଡ଼ିକ $\lambda/2\pi$ର ମୂଲ୍ୟଠାରୁ ବଡ଼ ସେଗୁଡ଼ିକ

ସାର୍ଥକ । ଏଥିରୁ ମିଳିଲା ଯେ,

$$d_{min} = \frac{\hbar\sqrt{1-V^2/c^2}}{mV} \qquad (୧୪'୯)$$

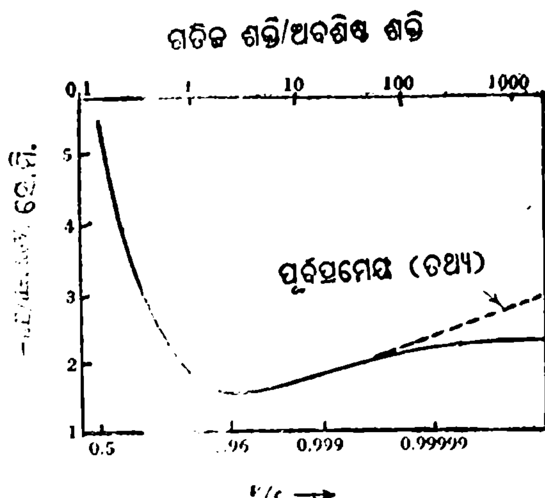
ଆପେକ୍ଷିକ କ୍ୱାଣ୍ଟମଯାନ୍ତ୍ରିକୀ ହିସାବ ବେଥେ, ବ୍ଲକ ଓ ଅନ୍ୟମାନେ କରିଛନ୍ତି । ବେଥେଙ୍କ ଅନୁସାରେ, ଯଦି $V<0.95c$ ହୁଏ

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{Z^2e^4n}{4\pi\epsilon_0^2 mV^2}\left[ln\frac{2mV^2}{I(1-V^2/c^2)} - \frac{V^2}{c^2}\right]$$

(୧୪'୧୦)

ହାରାହାରି ଉତ୍ତେଜନା ଶକ୍ତି I ହିସାବ କରିବା କଷ୍ଟ । ସାଧାରଣତଃ ଏହାକୁ ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ଫଳାଫଳ ସହିତ ମେଳକ ଦୃଷ୍ଟିରୁ ବାଛି ବାହାର କରିବା ରୀତି । ଅଧିକାଂଶ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଭୋଲ୍ଟରେ I ହେଲା ମୋଟାମୋଟି $13z$, ଏଠାରେ z ହେଉଛି ବାଧା ଦେଉଥିବା ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକର ପାରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା । ଅତି ହାଲୁକା ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ (ହାଇଡ୍ରୋଜେନ, ହିଲିୟମ ଓ ବେରିଲିୟମ୍) ଆପତନ କଣିକାଗୁଡ଼ିକର ଶକ୍ତି meV ପରିସର ମଧ୍ୟରେ ଥିବାବେଳେ I ର ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ଫଳଗୁଡ଼ିକ ହେଲା ଯଥାକ୍ରମେ 19, 44 ଓ 64eV ।

ଯେତେବେଳେ $V \simeq 0{\cdot}96c$ ଗୋଟିଏ ଏକକ ପଥ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ମଧ୍ୟରେ ଶକ୍ତି କ୍ଷୟ ସର୍ବନିମ୍ନ ହେବ । ଉଚ୍ଚତର ବେଗମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଆଗ ତତ୍ତ୍ୱଗୁଡ଼ିକ ଅନୁସାରେ (ଚିତ୍ର ୧୪'୭) $-dE/dx$ ଗୁଣ୍ଡୁ କଣିକାର ଶକ୍ତିର ଲୋଗାରିଦମ୍ ସଙ୍ଗେ ବୃଦ୍ଧି ଲାଭ କରିବ, ଭେଦ କରୁଥିବା କଣିକାର ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ରର ପ୍ରତିସ୍ଥା ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧର ବୃଦ୍ଧି ଲାଗି ଏହା ହେବ । କିନ୍ତୁ 1938ରେ ସ୍ୱାନ ଦେଖିଲେ ଯେ, ପାର୍ଶ୍ୱିକ କିରଣ ପ୍ରଭାବଗୁଡ଼ିକ ଦ୍ରୁତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗୁଡ଼ିକୁ ଯୋଡ଼ାଇ ପକାଇବ । 1940ରେ ଫର୍ମି ଗୋଟିଏ ତତ୍ତ୍ୱ ଗଠନ କରି ଦେଖାଇଲେ ଯେ, ପାର୍ଶ୍ୱିକ କିରଣ ପ୍ରଭାବ ମୂଳତଃ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସାନ୍ଦ୍ରତା n ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ । ପାର୍ଶ୍ୱିକ କିରଣ ଓ ସାନ୍ଦ୍ରତା ପ୍ରଭାବ ଫଳରେ $-dE/dx$ ଚରମ ଆପେକ୍ଷିକୀୟ ପରିସର ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରାୟ ଧ୍ରୁବ ରହେ ।



[ଚିତ୍ର ୨୪·୭ ଗୋଟିଏ ଗୁରୁ ଏକ-ଆୟନଯୁକ୍ତ କଣିକା ଅମ୍ଳଜାନ ମଧ୍ୟ ଦେଇ (760*mm*, 0°*c*) ଗତି କଲାବେଳେ ଏକକ ଦୈର୍ଘ୍ୟପଥର ଶକ୍ତି କ୍ଷୟ କଣିକାର ବେଗର ଫଳନ ଭାବରେ (ନିମ୍ନ ସ୍କେଲ) ଓ ଗତିଜ ଶକ୍ତିର ସ୍ଥିର ଶକ୍ତି ପ୍ରତି ଅନୁପାତ (ଉପର ସ୍କେଲ)]

$-dE/dx$ ରାଶିଟିକୁ ସରଳରୈଖିକ ରୋଧକ ପ୍ରଭାବ ବା ଯେଉଁ ବସ୍ତୁ ଦେଇ ଗୁରୁ ଚାର୍ଜ କଣିକା ଗତି କରେ, ସେହି ବସ୍ତୁର ରୋଧକ କ୍ଷମତା ବୋଲି କୁହାଯାଏ । $V<0{\cdot}95c$ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ କଣିକା ପାଇଁ, ଶକ୍ତି କ୍ଷୟର ଏହି ହାରଟି ଦ୍ୱାରା ହେଲା (୧) ରୋଧକ ବସ୍ତୁର ପ୍ରତି ଏକକ ଆୟତନରେ ଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟାକୁ ଅନୁପାତୀ (୨) ଚାର୍ଜର ବର୍ଗ ପ୍ରତି ଅନୁପାତୀ ଓ ସ୍ଥୂଳ ଭାବରେ ଆପତନ କଣିକାର ଗତି ବେଗର ବର୍ଗକୁ ବ୍ୟୁତ୍କ୍ରମଭାବେ ଅନୁପାତୀ ।

ରୋଧକାଙ୍କ ଆପତନ କଣିକାର ଚାର୍ଜ ଉପରେ ଓ ବେଗ ଉପରେ (କିନ୍ତୁ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଉପରେ ନୁହେଁ) ନିର୍ଭର କରେ । ତେଣୁ ପ୍ରୋଟନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁର ରୋଧକ ଶକ୍ତିର ପ୍ରୋଟନମାନଙ୍କର ବେଗର ଫଳନଭାବରେ ମାପରୁ $V>\sqrt{1/2m}$ ହେଲେ

ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ଗୁରୁ କଣିକାମାନଙ୍କ ପାଇଁ (ଯଥା : ∝ କଣିକା, ମ୍ୟୁଅନ ବା ଡ୍ୟୁଟେରନ) ରୋଧନ କ୍ଷମତା ହିସାବ କରିହେବ । ଏଥିପାଇଁ ଭେଦ କରୁଥିବା କଣିକାଟି ଏତେ ବେଗରେ ଗତି କରିବା ଦରକାର, ଯେପରିକି ଏହା ସହିତ କୌଣସି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଲାଗି ରହିଯିବ ନାହିଁ ବା ଏଥିରୁ କୌଣସି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ରହିଯିବ ନାହିଁ । $\left|\frac{dE}{dx}\right|$ ଟି V କମିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ବଢ଼ିବା ଲାଗି ମନ୍ଥର କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ଏକକ ପଥଦୈର୍ଘ୍ୟ ମଧ୍ୟରେ କ୍ଷିପ୍ରତର କଣିକାମାନଙ୍କ ଅପେକ୍ଷା ଅଧିକ ଆୟନ ହଳ ସୃଷ୍ଟି କରିଥାନ୍ତି ।

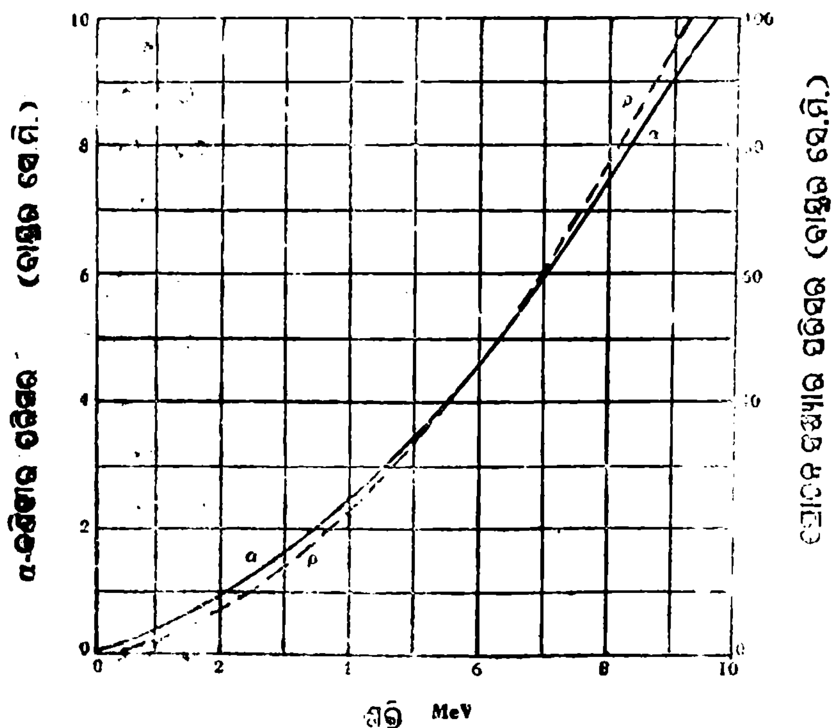
ଗୋଟିଏ ଗୁରୁ କଣିକା ସ୍ଥିର ହେବା ପୂର୍ବରୁ ଗୋଟିଏ ରୋଧକ ବସ୍ତୁ ମଧ୍ୟରେ ଯେତେଦୂର ବାଟ କରେ, ତାକୁ କଣିକାଟିର ପରାସର କୁହାଯାଏ । E_o ପ୍ରାଥମିକ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ କଣିକା ପାଇଁ ପରାସର R ହେବ,

$$R=\int_{o}^{E_1}\frac{dE}{-dE/dx} \qquad (୨୪.୨୦ଢ)$$

ଆଗ ଆଗ ପରୀକ୍ଷାମାନଙ୍କରେ ନିହିତ୍ୱାସ୍ୱର ରୂପାନ୍ତରଣମାନଙ୍କରେ ଗୋଟିଏ ବିକିରିତ କଣିକାର ଶକ୍ତି ସାଧାରଣତଃ $15°c$ ଓ $1 atm$ ଚାପ (ଚିତ୍ର ୨୪୮)ରେ ଥିବା ବାୟୁରେ ଏହାର ପରାସରରୁ ସ୍ଥିର କରାଯାଉଥିଲା । 1910ରେ ଗାଇଗର ଦେଖିଲେ ଯେ, ପ୍ରାକୃତିକ ∝ କଣିକାଗୁଡ଼ିକର ବାୟୁରେ ପରାସର ସେଣ୍ଟିମିଟରରେ $R\simeq0{\cdot}32E^{\frac{3}{2}}$ (E ହେଲା MeVରେ ଶକ୍ତି) ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ; ଗାଇଗରଙ୍କ ନିୟମ $4MeV<E10\ MeV$ ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ଉତ୍ତମ ଆସନ୍ନ ହିସାବ ।

ପରାସରରେ ଶେଷ ସ୍ତରରେ ∝ କଣିକାଟି ପହଞ୍ଚିବାବେଳକୁ, ଏହା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗୁଡ଼ିକୁ ଅତି ବେଗରେ ଧରିପାରେ ଓ ହରାଇପାରେ; ତେଣୁ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ଚାର୍ଜ 0ରୁ 2 ମଧ୍ୟରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇଥାଏ । ଯଦି ଗୋଟିଏ ∝ କଣିକାର ବାୟୁରେ ଅବଶିଷ୍ଟ ପରାସର ପ୍ରାୟ $0{\cdot}4cm$ ଥିବାବେଳେ ଏହା ସର୍ବାଧିକ ହାରରେ ଶକ୍ତି ହରାଇଥାଏ, ତେବେ ଏହା ଏକ ମିଲିମିଟର ପଥଦୈର୍ଘ୍ୟ ମଧ୍ୟରେ 6600 ହଳ ଆୟନ ସୃଷ୍ଟି କରିଥାଏ, ଯେତେବେଳେ

ଏହାର ଶକ୍ତି ଅନେକ MeV ହୋଇଥାଏ ସେତେବେଳେ ଏହା ମାତ୍ର ପ୍ରାୟ 2000 କରିଥାଏ । ଏ ଦୁଇ କଥାର ତୁଳନା କରାଯାଇପାରେ । ଏକକ ପଥ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ମଧ୍ୟରେ ଆୟନ ଯୁଗ୍ମମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟାକୁ କଣିକାଟିର ବିଶିଷ୍ଟ ଆୟନନ ବୋଲି କୁହାଯାଏ । ପ୍ରୋଟନ ପାଇଁ ବିଶିଷ୍ଟ ଆୟନନ ବାୟୁରେ ଏହାର ପରାସରର 1*mm* ଶେଷକୁ ଥିବାବେଳେ ପ୍ରତି ମିଲିମିଟରକୁ 2750 ଯୁଗ୍ମ ଆୟନ କରି ସର୍ବାଧିକ ହୋଇଥାଏ ।



[ଚିତ୍ର ୨୪.୮ ∝ କଣିକା ଓ ପ୍ରୋଟନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ପ୍ରମାଣ ବାୟୁରେ ପରାସର ଶକ୍ତି ସମ୍ବନ୍ଧ]

ଯଦି ଚୁମ୍ବକୀୟ ଓ ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋଷ୍ଟାଟିକ ପ୍ରଣାଳୀଗୁଡ଼ିକ ଶକ୍ତି ପରିମାପର ସୂକ୍ଷ୍ମତା ଦୃଷ୍ଟିରୁ ବହୁକାଳରୁ ପରାସର ମାପ ପ୍ରଣାଳୀକୁ ବହିଷ୍କାର କରିସାରିଲେଣି, ତଥାପି କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ବସ୍ତୁ ମଧ୍ୟରେ ଗତି କଲାବେଳେ ହରାଉଥିବା ଶକ୍ତି ବିଷୟରେ ଆଲୋଚନାର ଏବେ

ମଧ୍ଯ ପ୍ରାଧାନ୍ୟ ରହିଅଛି । ଉଲ୍ଲିଷ୍ଟତର ପ୍ରଣାଳୀ ବ୍ୟବହାର କରିବାରେ ଏବେ ମଧ୍ଯ ଉପରେ ଥିବା ବସ୍ତୁ ପରମାଣୁରେ ବା ଯେଉଁ ପରମାଣୁରେ କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ଗତି କରୁଛି ସେଗୁଡ଼ିକରେ ଶକ୍ତି କ୍ଷୟ ପାଇଁ ସଂଶୋଧନ କରିବା ଦରକାର ପଡ଼ୁଛି । ଏପରି ସଂଶୋଧନ କରିବାପାଇଁ ପଥ ସଙ୍ଗେ ଶକ୍ତି କ୍ଷୟ 2 differential rate ଜାଣିବା ଦରକାର ।

24.5 ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକର ରୋଧ :

ଗୋଟିଏ ଉଚ୍ଚଶକ୍ତି ସମ୍ପନ୍ନ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ବସ୍ତୁ ମଧ୍ୟରେ ଗତି କଲାବେଳେ ଆୟନନ ଦ୍ୱାରା ଓ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକୁ ଉତ୍ତେଜିତ କରିବା ଦ୍ୱାରା ଓ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ବିକିରଣ ଉତ୍ପାଦନ ଦ୍ୱାରା ଶକ୍ତି ହରାଇଥାଏ । କେତେକ MeV ଶକ୍ତି ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଆଗ ଦିଆଯିବା ପ୍ରଣାଳୀଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରଧାନ, କିନ୍ତୁ ଅତି ଉଚ୍ଚ ଶକ୍ତିରେ ବିକିରଣର କ୍ଷୟ ଅଧିକ ପ୍ରଧାନ ହୋଇଥାଏ ।

ସମୀକରଣ (୨୪.୨୦) କାହିଁକି ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକୁ ଲାଗୁ ହେବନାହିଁ, ସେଥିର ଦୁଇଟି ପ୍ରଧାନ କାରଣ ଅଛି । (୧) ଏହା ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନରେ ଅନୁମାନ କରାଯାଇଅଛି ଯେ, ଆପତନ କଣିକ ଟି ବିକ୍ଷେପିତ ହୋଇ ନଥାଏ, କିନ୍ତୁ ଗୋଟିଏ ଆପତନ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ବା ନିଉକ୍ଲିୟସ ସଙ୍ଗେ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଘଟାଇବାବେଳେ, ଆପତନ କଣିକାକୁ ଦିଆଯାଉଥିବା ଅନୁପ୍ରସ୍ଥ ସଂବେଗ ହେଲା କରାଯାଇ ନପାରେ; ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଓ ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ବାଧାପ୍ରାପ୍ତ ହେଲାବେଳେ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ଭାବରେ ବିକ୍ଷେପଣ ଘଟିଥାଏ; (୨) ସଂଘର୍ଷ ଓ ସେହି କାରଣରୁ ପରସ୍ପର-ଠାରୁ ବାରି ନହେଉଥିବା କଣିକାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସଂଘର୍ଷ ପାଇଁ ଶେଷ ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ମଧ୍ୟରୁ କେଉଁଟି ଆପତିତ ହୋଇଥିଲା କହି ହେବନାହିଁ; କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଯାନ୍ତ୍ରିକ ଉଙ୍ଗରେ ଯେଉଁ ବିନିମୟ ଘଟଣାର ବିଚାର କରାଯାଏ, ତାହା ଫଳକୁ ବହୁ ପରିମାଣରେ ବଦଳାଇ ଦେବ । ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଅୟନନ ଉତ୍ତେଜନା କ୍ଷୟ ବେଥେଙ୍କର ନିମ୍ନ ସୂତ୍ରରେ ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ;

$$-\left.\frac{dE}{dx}\right|_{ion}=\frac{ne^4}{8\pi\epsilon_0^2 mV^2}\left[ln\frac{mV^2k}{2I^2(1-\beta^2)}\right.$$
$$\left.(2\sqrt{1-\beta^2}-1+\beta^2)\,ln\,2+1-\beta^2+\cdots\right] \qquad (୨୪.୨୧)$$

ଏଠାରେ K ହେଲ ଗତିଜଶକ୍ତି, V ହେଲ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ବେଗ ଓ $\beta = V/c$, ଅନ୍ୟ ସମସ୍ତ ସଙ୍କେତର ସଂଜ୍ଞାକରଣ (୧୪.୧୦)ରେ ଯେଉଁ ଅର୍ଥ ଏଠାରେ ମଧ୍ୟ ସେହି ଅର୍ଥ ।

ବେଥେ ଓ ହାଇଟଲର୍ ଦେଖାଇଛନ୍ତି ଯେ ଯେତେବେଳେ $K >> mc^2$ ବ୍ରେମଷ୍ଟ୍ରାଲଙ୍ଗ ଲାଗି differentiol ଶକ୍ତି କ୍ଷୟ ବ୍ରେମଷ୍ଟ୍ରାଲଙ୍ଗ ହେଲ ପ୍ରଧାନତଃ ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର କ୍ଷେତ୍ରରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ମାନଙ୍କର ତ୍ୱରଣରୁ ଜାତ ଏବଂ ବିକୀରଣ)

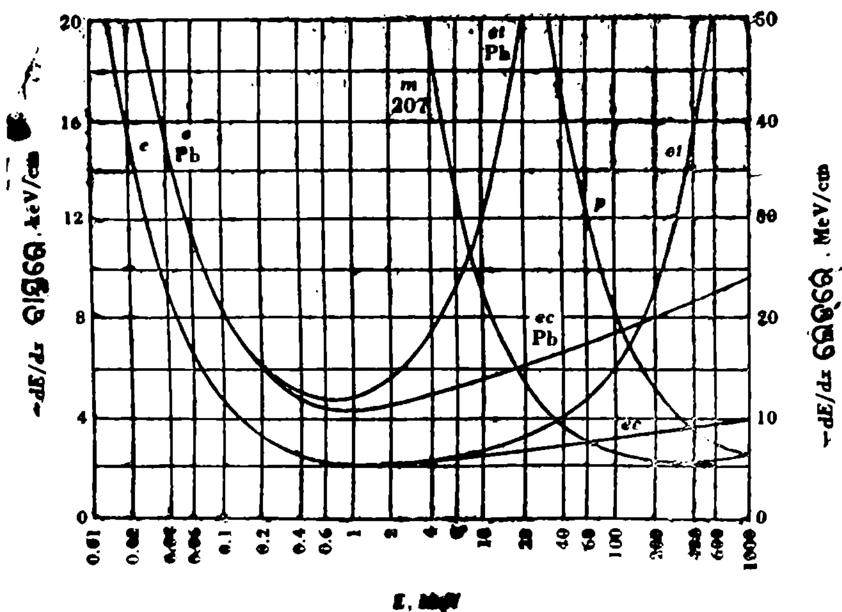
$$-\frac{dE}{dx}\bigg|_{rad} = \frac{4Z^2 e^6 NK(Z+1\cdot3)\ [ln\ 183\ Z^{-\frac{1}{3}} + \frac{1}{18}]}{4\pi \in_0^3 \hbar m^2 c^4} \qquad (୧୪.୨୨)$$

ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇଥାଏ । ଏଠାରେ N ହେଲ Z ପାରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା ବିଶିଷ୍ଟ ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ଏକକ ଆୟତନ ମଧ୍ୟରେ ସଂଖ୍ୟା । ବିକିରଣ କ୍ଷୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର (ବା ପଜିଟ୍ରନର) ଗତିଜ ଶକ୍ତି Kକୁ ଅନୁପାତୀ, କିନ୍ତୁ ଆୟନନ କ୍ଷୟ ln Kକୁ ଅନୁପାତୀ ଓ ଗତିବେଗକୁ ବ୍ୟୁତ୍କ୍ରମାନୁପାତୀ । ତେଣୁ K ବାଢ଼ିଲେ ବିକିରଣ କ୍ଷୟ ଆୟନନ କ୍ଷୟ ଅପେକ୍ଷା ଅଧିକ କ୍ଷିପ୍ର ଭାବରେ ବଢ଼ିଯାଇଥାଏ । ଲେଡ୍ ପାଇଁ 7MeVଠାରେ ବିକିରଣ କ୍ଷୟ ଆୟନନ କ୍ଷୟ ସହ ସମାନ ହୋଇଥାଏ, କିନ୍ତୁ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପାଇଁ ଏହି ସମାନତା 340MeVଠାରେ ଆସିଥାଏ ।

ଅତ୍ୟଧିକ ଶକ୍ତି ପରିସରରେ ଏକକ ପଥ ଦୈର୍ଘ୍ୟରେ ଶକ୍ତି କ୍ଷୟ ଗତିଜ ଶକ୍ତି Kକୁ ଅନୁପାତୀ । ଏହା ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବା ପଜିଟ୍ରନ ବସ୍ତୁ ମଧ୍ୟରେ ଗତି କଲାବେଳେ ଏକ ଏକ୍ସପୋନେନ୍ସିଆଲ ଶକ୍ତି କ୍ଷୟ ଦେଇଥାଏ ।

ଏ କ୍ଷେତ୍ରରେ $-\frac{dE}{dx} = -\frac{dK}{dx} = \frac{K}{\Lambda}$, ଏଠାରେ Λକୁ ବିକିରଣ ଦୈର୍ଘ୍ୟ କୁହାଯାଏ । ଯେଉଁ ଅଞ୍ଚଳରେ ଏହି ସମ୍ପର୍କ ଲାଗୁ ହୁଏ, $K = K_0\, e^{-x/\Lambda}$ ହୁଏ । ବିଭିନ୍ନ ବସ୍ତୁ ପାଇଁ $\Delta\rho$କୁ ପ୍ରତି ବର୍ଗ ସେ. ମି.ରେ ଗ୍ରାମରେ ପ୍ରକାଶ କରିବା ସୁବିଧା ସମ୍ମତ, ଏଠାରେ ρ ହେଲ ରୋଧକ ବସ୍ତୁର ସାନ୍ଦ୍ରତା । ବାୟୁ ଓ ଜଳପାଇଁ K>85 MeV ବେଳେ $\Lambda\rho$ ହେଲ ପ୍ରାୟ $36 g/cm^2$; ଲୁହା ପାଇଁ K>24 MeV ବେଳେ $\Lambda\rho = 14 g/cm^2$, ଲେଡ୍ ପାଇଁ K>7MeV ବେଳେ $\Lambda\rho = 6 g/cm^2$ । ଚିତ୍ର ୧୪.୯ରେ ବାୟୁ ଓ ଲେଡ୍‌ରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ଶକ୍ତି କ୍ଷୟ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ଦିଆଯାଇଛି

ଗୋଟିଏ ମ୍ୟୁଅନ ଓ ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନ ପାଇଁ ବାୟୁରେ ଫଳାଫଳ ତୁଳନା ପାଇଁ ଦେଖାଯାଇଅଛି ।



[ଚିତ୍ର ୨୪.୯ ବିଭିନ୍ନ କଣିକାମାନଙ୍କ ଗତିଜ ଶକ୍ତି Eର ଫଳନ ଭାବରେ ପ୍ରତି ଏକକ ପଥଦୈର୍ଘ୍ୟରେ ଶକ୍ତି କ୍ଷୟ ପାଇଁ ତାତ୍ତ୍ୱିକ ରେଖାବକ୍ର । $e-ec$ ଓ $e-ct$ ରେଖାବକ୍ରକ ପ୍ରମାଣ ବାୟୁରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ସଂଘର୍ଷ କ୍ଷୟ ଓ ମୋଟ (ବିକିରଣକୁ ନେଇ) ଶକ୍ତି କ୍ଷୟ । $e\,Pb-ec\,Pb$ ଓ $ePb-elPb$ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ; ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ସୀସାରେ ଆୟନନ – ଉତ୍ତେଜନା କ୍ଷୟ ଓ ମୋଟ କ୍ଷୟ । M – 207 ଓ P ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ଗୋଟିଏ ମ୍ୟୁଅନ ଓ ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନ ଦ୍ୱାରା ମୋଟ କ୍ଷୟ]

24·6 ଚେରେନ୍କୋଭ ବିକିରଣ :

ଯେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ n ପ୍ରତି ସରଣାଙ୍କ ବିଶିଷ୍ଟ ମାଧ୍ୟମରେ ଗୋଟିଏ ଚାର୍ଜ କଣିକା ସେଥିରେ ଆଲୋକର ବେଗ c/n ଅପେକ୍ଷା ଅଧିକ ବେଗରେ ଗତି କରେ, ସମଛନ୍ଦର

ଆଲୋକ ବିକଶିତ ହୁଏ । ଏହା ଗୋଟିଏ ଧ୍ୱନିସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ବିକ୍ଷୁବ୍ଧ ତରଙ୍ଗର ଅନୁରୂପ ଓ ଗୋଟିଏ ପୋତାଗ୍ର ତରଙ୍ଗର ମଧ୍ୟ ଅନୁରୂପ । ସେରେଙ୍କୋଭ ଏହି ଘଟଣା 1934 ମସିହାରେ ଆବିଷ୍କାର କରିଥିଲେ ଓ ପାରମାଣବିକ ଭାବରେ ଆଲୋଚନା ମଧ୍ୟ କରିଥିଲେ । ତିନିବର୍ଷ ପରେ ଫ୍ରାଙ୍କ ଓ ଟାମ ପୁରାତନ ବିଦ୍ୟୁତଚୁମ୍ବକ ତତ୍ତ୍ୱ ସାହାଯ୍ୟରେ ସେରେଙ୍କୋଭ ବିକିରଣକୁ ବୁଝାଇ ଦେଇଥିଲେ । ଡେଜଷ୍ଟ୍ରିସ୍ୱତାର ଆରମ୍ଭ କାଳରୁ ଜଣା ଥିଲା ଯେ, ରାଶିଜ ଲବଣମାନଙ୍କର ଦ୍ରବଣ ପରି ଭିନ୍ନ ବସ୍ତୁ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ବସ୍ତୁମାନଙ୍କର ବିକିରଣକୁ ଅନାବୃତ ରଖାଗଲେ ଅଳ୍ପ ଆଲୋକ ବିକିରଣ କରିଥାନ୍ତି । ତେବେତେ କ୍ଷେତ୍ରରେ ସେ ଆଲୋକର ହିସ୍ର ଦେବ ସହଯୋଗୀ । 1929ରେ ଆଲୋକକୁ Y ରଶ୍ମି ଦ୍ୱାରା ବିକିରଣ କରି ସେଥିରୁ ମଲେଟ ବାଇଗେଣିପର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ପାଇ ପାରିଲେ, ଏହା ସେରେଙ୍କୋଭ ବିକିରଣରୁ ଆସିଥିଲା ପରନ୍ତୁ ଏପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଏହି ଶବ୍ଦାବଳୀ ଚିନ୍ତା ପଡ଼ି ନଥିଲା ।

Ze ଚାର୍ଜ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ କଣିକା ଗୋଟିଏ ପାରଦ ବସ୍ତୁ ମାଧ୍ୟମରେ ଗତି କଲେ ସେଥିସହିତ ଗୋଟିଏ ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ର ସଂଯୁକ୍ତ ହୋଇ ରହିବ । ଏହି ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ର ଅଳ୍ପ ସମୟ ପାଇଁ ପରମାଣୁଗୁଡ଼ିକୁ ପାର୍ଶ୍ୱୀଭୂତ କରି ଦେବ । ଏହା ବିକ୍ଷୁବ୍ଧ ତରଙ୍ଗର ଆକାର ନେବ ଏବଂ ଏପରି ଭାବରେ ଏଥିରୁ ପୁନଃ ବିକିରଣ ହେବ । ଯଦି କଣିକାର ବେଗ V ଆଲୋକର ପ୍ରାଣାୟୁ ବେଗଠାରୁ କମ ହେବ, ପଥର ସମସ୍ତ ଅଂଶରୁ ବିକୁରିତ ବିକିରଣ ପରସ୍ପରକୁ ଧ୍ୱଂସ କରିଦେବ ବିକ୍ଷିତ ହେବେ । କିନ୍ତୁ V ଯେତେବେଳେ c/n ଠାରୁ ବେଶୀ ହେବ, ପଥର ସମସ୍ତ ଅଂଶରୁ ବିକୁରିତ ବିକିରଣ ତେବେ ଦଶରେ ସମକାଳରେ ରହିପାରିବେ । ଗୋଟିଏ ସମତଳ ତରଙ୍ଗସାମ୍ମୁଖ୍ୟ (ଚିତ୍ର ୨୪.୧୦) ମାଧ୍ୟମ ମଧ୍ୟରେ Ac ଦିଗରେ ଗତି କରିବ । ଏହା

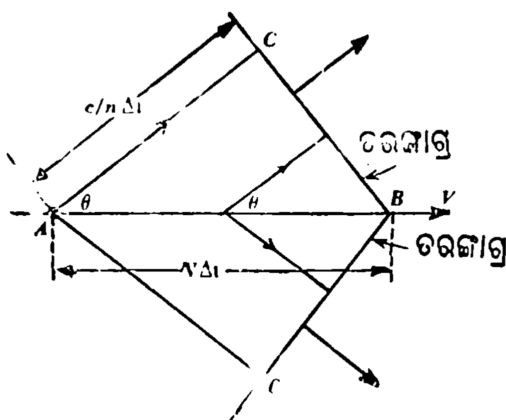
$$\cos\theta = \frac{c/n}{V} = \frac{c}{nV} \qquad (୨୪.୨୩)$$

ସର୍ତ୍ତ ପୂରଣ କରିବ । ସେରେଙ୍କୋଭ ବିକିରଣର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଭେକ୍ଟର କୋନର ପୃଷ୍ଠତଳକୁ ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ରହିଥାଏ ।

ଫ୍ରାଙ୍କ ଓ ଟାମ୍‌ଙ୍କ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ଏକକ ପଥଦୈର୍ଘ୍ୟ ମଧ୍ୟରେ ସେରେଙ୍କୋଭ ବିକିରଣ ଲାଗି ହେଉଥିବା ଶକ୍ତିକ୍ଷୟ,

$$-\frac{dE}{dx}=\frac{\pi Z^2e^2}{\epsilon_0c^2}\int\left(1-\frac{c^2}{V^2n^2}\nu d\nu\right) \qquad (୨୪.୨୪)$$

ଏଠାରେ ସମାକଳନଟି ଯେଉଁ ଛନ୍ଦନମାନଙ୍କ ପାଇଁ $Vn/c>1$, ସେ ସମସ୍ତ ଛନ୍ଦନ ଉପରେ ବିସ୍ତାର ଲାଭ କରିଅଛି । ଏହା ବିକିରଣକୁ ମାଧ୍ୟମର ବାଇଗଣିପର ଶୋଷଣ ବ୍ୟାଣ୍ଡଗୁଡ଼ିକର ଛନ୍ଦନଠାରୁ କମ୍ ଛନ୍ଦନରେ ସୀମିତ କରି ଦେଉଛି । ଏହି ସୀମାର ତଳକୁ ଶକ୍ତି କ୍ଷୟ $\nu d\nu$ (ବା $d\lambda/\lambda^3$) ପ୍ରତି ଅନୁପାତୀ ହୁଏ, ଏଥିରୁ ଜଣାଯାଉଛି ଯେ ଆଲୋକ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର



[ଚିତ୍ର ୨୪.୧୦ ଗୋଟିଏ ଚାର୍ଜ କଣିକା ଗୋଟିଏ ମାଧ୍ୟମରେ ଆଲୋକର ସ୍ଥାନୀୟ ବେଗ c/nଠାରୁ ଅଧିକ ବେଗ Vରେ ଗତି କରି କୋଣ θରେ ସେରେଙ୍କୋଭ ବିକିରଣ କରୁଅଛି; ଏଠାରେ $\cos\theta=c/nV$]

ବାଇଗଣିପର ପ୍ରାନ୍ତର କମି ଯାଇଥାଏ । ସମୀକରଣ (୨୪.୨୪)ରୁ ଦେଖାଯାଉଛି ଯେ, ଗୋଟିଏ ବେଗଗାମୀ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ($V\simeq c$) ଜଳ ମଧ୍ୟରେ ଗତି କଲେ ପ୍ରତି ମିଲିମିଟର ପଥଦୈର୍ଘ୍ୟ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରାୟ 23 ଗୁଣମାନ ଫୋଟନ ବିକିରଣ କରିଥାଏ ।

ସେରେଙ୍କୋଭ ବିକିରଣ କଣିକାଟିକୁ ରୋଧ କରି ଦେବାରେ ଶକ୍ତି କ୍ଷୟର ପ୍ରଧାନ କାରଣ ନୁହେ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, 100 – MeVର ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଜଳରେ ଆୟନନରେ ପ୍ରାୟ 2MeV/cm, ବ୍ରେମ୍ଷ୍ଟ୍ରାଲଙ୍ଗରେ ପ୍ରାୟ ସେହି ପରିମାଣ ଓ

ସେରେଙ୍କୋଭ ବିକିରଣରେ 2·7KeV/cm ବ୍ୟୟ ହୁଏ । ଗୋଟିଏ 1 – GeV ପ୍ରୋଟନ ପାଇଁ (V/c≃0·87) ପୁଣି ଆୟନନ କ୍ଷୟ 2MeV/cm । କିନ୍ତୁ ସେରେଙ୍କୋଭ କ୍ଷୟ ହେଲା ପ୍ରାୟ 1·7KeV/cm ଓ ବ୍ରେମଷ୍ଟ୍ରାଲଙ୍ଗ କ୍ଷୟ କେବଳ 10eV/cm । ସେରେଙ୍କୋଭ କ୍ଷୟ ଅଳ୍ପ ହେଲେ ମଧ୍ୟ ଏହା ଅତ୍ୟନ୍ତ ଗୁରୁତ୍ୱପୂର୍ଣ୍ଣ କାରଣ (୧) ଆଲୋକ ଦୃଶ୍ୟମାନ ଓ ବାଇଗେଣିଆର ଆଲୋକ ପାଖରେ ଜମେ, (୨) ଏହା ଗୋଟିଏ ସ୍ପଷ୍ଟ ଦେଖାଦେଉଥିବା କୋଣରେ ଓ ସ୍ପଷ୍ଟ ଜଣାପଡ଼ୁଥିବା ପାର୍ଶ୍ୱୀଭୂତ ହୋଇ ଦେଖାଦିଏ ଏବଂ (୩) ସେରେଙ୍କୋଭ ବିକ୍ଷୁବ୍ଧ ତରଙ୍ଗ ତାତ୍କ୍ଷଣିକ ($<<10^{-10}s$) । ଏହି ଗୁଣଗୁଡ଼ିକ ଶକ୍ତି ବାଛିକ ହସ୍ତି ଟେଲେ ତିଆରି କରି ଉଚ୍ଚଶକ୍ତି ଘୃର୍ଜ କଣିକାମାନଙ୍କୁ ବାଛି ସେମାନଙ୍କର ବେଗ ମାପିବା ସମ୍ଭବ କରିଅଛି ।

24·7 ଘୃର୍ଜ କଣିକାମାନଙ୍କୁ ବାଛିବା :

ଅଧିକାଂଶ ବାଛିବା ଯନ୍ତ୍ରରେ, ଗୋଟିଏ ଘୃର୍ଜ କଣିକା ଗଲାବେଳେ ସେହି ମାଧ୍ୟମରେ କରୁଥିବା ଆୟନନ ଦ୍ୱାରା ଜଣାପଡ଼ିଥାଏ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ଗୋଟିଏ ୯ କଣିକା ଗୋଟିଏ ଗ୍ୟାସ ମଧ୍ୟରେ ଗତି କଲାବେଳେ ତା'ର ପଥରେ ପରମାଣୁମାନଙ୍କୁ ଆୟନନ ଓ ଉତ୍ତେଜିତ କରିବ, ତା'ର ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ର ଦ୍ୱାରା ପାରମାଣବିକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କୁ ବିଚ୍ଛିନ୍ନ କରିବା ଦ୍ୱାରା ଏପରି ହେବ, ଏଥିଦ୍ୱାରା ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଓ ଯୁକ୍ତ ଆୟନ ଯୋଡ଼ି ଉତ୍ପନ୍ନ ହେବେ । ଅନେକ ଗ୍ୟାସରେ – ଅମ୍ଳଜାନ ବା କ୍ଲୋରିନ ପରି । ଏପରି ଭାବରେ ମୁକ୍ତ ହୋଇଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନେ ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ପ୍ରଶମ ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ସଙ୍ଗେ ଯୋଡ଼ି ହୋଇଯିବେ ଓ ଏହା ଫଳରେ ବିଯୁକ୍ତ ଆୟନ ଯୋଡ଼ି ସୃଷ୍ଟି ହେବ; ନୋବଲ୍ ଗ୍ୟାସ ପରି ଅନ୍ୟମାନଙ୍କରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନେ କେବଳ ଗତି କରି ପାରନ୍ତି । ହାରାହାରି ଭାବରେ ଗୋଟିଏ ଘୃର୍ଜ କଣିକା ତିଆରି ହେଉଥିବା ପ୍ରତି ଆୟନ ଯୋଡ଼ି ପାଇଁ ପ୍ରାୟ 34eV ଶକ୍ତି ବ୍ୟୟ ହୁଏ । γ ରଶ୍ମି ଓ ଏକ୍ସ୍‌ରଶ୍ମି ଦୁହେଁ ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ସହିତ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଦ୍ୱାରା ଜଣା ପଡ଼ି ପାରନ୍ତି; ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ଫଟୋ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଓ କମ୍ପଟନ ପ୍ରଣାଳୀରେ ବିକିରଣ ଶକ୍ତିର ଏକ ଅଂଶ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଗତିଜ ଶକ୍ତିରେ ପରିଣତ ହୋଇପାରେ ଏବଂ ଏହା ପରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଟି ତା'ର ଆୟନନ କ୍ଷମତା ଫଳରେ ଜଣାପଡ଼ିପାରେ ।

(ଳ ଆୟନନ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ ଓ ଗଣକ :

ବୈଦ୍ୟୁତିକ ବସ୍ତୁ ପ୍ରଣାଳୀମାନଙ୍କରେ ଗୋଟିଏ ସ୍ପନ୍ଦ କଣିକା ଗଠନ କରିବା ଦ୍ୱାରା କ୍ଷରିତ ଆପ୍ରଚଳିତ ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ର ଦ୍ୱାରା ପୃଥକ ପୃଥକ ହୋଇଥାନ୍ତି । ଆୟନ-ଯୁଗ୍ମ ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋଡ଼ଗୁଡ଼ିକୁ ଗଠ କରିଥାଏ । ସେଠାରେ ପହଞ୍ଚିବା ପରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋମିଟର ବା କୌଣସି ପ୍ରକାରର ଇଲୁଚନ ଆମ୍ପ୍ଲିଫାୟର ଦ୍ୱାରା ଗଣାହୋଇ ଥାଆନ୍ତି । ଏହି ଗୋଟିଏ ସାଧାରଣ ବ୍ୟବସ୍ଥା ଚିତ୍ର ୭.୨ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । କଣିକା-ଗୁଡ଼ିକ ଗୋଟିଏ ପାତଳ ଝରକା ମଧ୍ୟ ଦେଇ ପ୍ରବେଶ କରିପାରେ ବା γ ରଶ୍ମି କ୍ଷେତ୍ରରେ ଦ୍ୱିତୀୟସ୍ତରର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସବୁ କାନ୍ଥରୁ ନିଷ୍କାସିତ ହୋଇପାରେ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ଯଦି ଗୋଟିଏ 5MeVର α କଣିକା ଗ୍ୟାସ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ ମଧ୍ୟରେ ରୋଧ କରାଯାଏ, ଏହା ପ୍ରାୟ $5\times10^6/34=150,000$ ଆୟନ ଯୁଗ୍ମ ସୃଷ୍ଟି କରିବ । ସଂକେତର ତାରଟି ଓ ମାପ କରିବା ପ୍ରଣାଳୀର ଧାରକତ୍ୱ 10PF, ତାହାର ବିଭବ

$$\frac{1\cdot5\times10^5\times1\cdot6\times10^{-19}}{10^{-11}}=0\cdot0024V$$

ପରିମାଣରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇ ଯାଇଥାଏ । ଗୋଟିଏ ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ପରିମାଣରେ ଉତ୍ତମ ଆମ୍ପ୍ଲିଫାୟରରେ ଏହି ପ୍ରକାରର ଗୋଟିଏ ଧକ୍କା ସହଜରେ ଜଣା ପଡ଼ିଯିବ । ସାଧାରଣତଃ ଗୋଟିଏ ନୋବଲ ଗ୍ୟାସ ବ୍ୟବହାର କରିବା ଅଧିକ ଉପାଦେୟ କାରଣ ସ୍ୱାଭାବିକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଆୟନ ତୁଳନାରେ ଅଧିକ କ୍ଷିପ୍ରବେଗରେ ଗତି କରି ପାରନ୍ତି ଓ ଗ୍ୟାସ ମଧ୍ୟରେ ଆୟନମାନଙ୍କର ପୁନଃମିଳନ କମିଯାଇଥାଏ ।

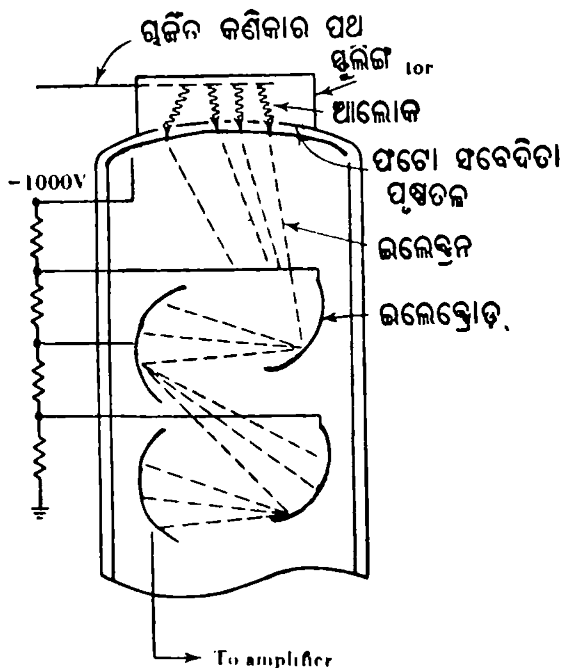
ଗୋଟିଏ ଯଥେଷ୍ଟ ପରିମାଣରେ ସରୁ ତାର ନେଇ ଓ ସେଥିରେ ଉଚ୍ଚ ଯୁକ୍ତ ବିଭବ ନେଇ ଏପରି ଶକ୍ତିଶାଳୀ କ୍ଷେତ୍ର ପାଇବା ସମ୍ଭବ ଯେ, ତାହାର ନିକଟରେ ଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସବୁ ଅତ୍ୟଧିକ ପରିମାଣରେ ତ୍ୱରାନ୍ୱିତ ହୋଇ ପାରନ୍ତି ଓ ସେମାନେ ଅନ୍ୟ ଆୟନନ ସୃଷ୍ଟି କରି ପାରନ୍ତି । ଏପରି ସୃଷ୍ଟି ହେଉଥିବା ନୂଆ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସବୁ ପୁଣି ତ୍ୱରାନ୍ୱିତ ହୁଅନ୍ତି ଓ ପୁଣି ଅଧିକ ଆୟନ ଉତ୍ପନ୍ନ କରନ୍ତି । ଏହାଫଳରେ ମୂଳ ସ୍ପନ୍ଦ ଏତେ ଗୁଣ ବଢ଼ିଯାଏ ଯେ କାର୍ଯ୍ୟତଃ 1000ଗୁଣ ହୋଇଯାଇପାରେ । ଏପରି ଅବସ୍ଥାରେ ଯନ୍ତ୍ରଟିକୁ ଅନୁପାତିକ ଗଣକ କୁହାଯାଏ, କାରଣ ଧକ୍କାର ଆକାର ମୂଳ ଆୟନକୁ ଅନୁପାତ

ହୋଇଥାଏ । ରୁଥରଫୋର୍ଡ଼୍ ଓ ଗାଇଗର ରେଡ଼ିୟମରୁ ବାହାରୁଥିବା α କଣିକାମାନଙ୍କୁ ଗଣିବାରେ ବ୍ୟବହାର କରିଥିବା ଗଣକ (ଚିତ୍ର ୮·୨) ଏହି ପ୍ରକାରର । ଆହୁରି ଅଧିକ ଭୋଲ୍ଟରେ, ତଥାକଥିତ ଗାଇଗର ଗଣିବା ଅଞ୍ଚଳ ଆସିଯାଇଥାଏ; ଏହି ଅବସ୍ଥାରେ ଏତେ ଗୁଣ ବୃଦ୍ଧି ହୋଇଥାଏ ଯେ, ବିସର୍ଜନ ସମସ୍ତ ଗଣକ ମଧ୍ୟରେ ବ୍ୟାପି ଯାଇଥାଏ । ଏଥିରୁ ମିଳୁଥିବା ସ୍ରୋତ କେବଳ ଦିଆଯାଇଥିବା ପାଓ୍ୱାର ଦ୍ୱାରା ସୀମିତ ହୋଇଥାଏ । କାର୍ଯ୍ୟତଃ କୁଣ୍ଡଳୀରେ ଗୋଟିଏ ସୀମିତ କରିବା ଭଳି ରୋଧକ ଦିଆଯାଇଥାଏ । ଏହା ଭୋଲ୍ଟକୁ କମାଇଥାଏ ଓ ବିସର୍ଜନକୁ ଶେଷ କରିଥାଏ । ଯେତେବେଳେ ଏ ଧକ୍କାରୁ କେବଳ ଗୋଟିଏ ଗଣନା ମିଳିଥାଏ ଏବଂ ଏହାର ପରିମାଣ ମୂଳ ଆୟନମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ସହିତ କୌଣସିମତେ ସଂପୃକ୍ତ ନଥାଏ । ଗୋଟିଏ ଗାଇଗର ଗଣକ ଗୋଟି ଗୋଟି କରି β କଣିକାଗୁଡ଼ିକୁ ସହଜରେ ଗଣି ଦେଇ ପାରିଥାଏ ।

(ଖ) ସ୍ଫୁଲିଙ୍ଗ ଗଣକ : ଗୁରୁ କଣିକାମାନଙ୍କ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ରୁଥରଫୋର୍ଡ଼ଙ୍କର ବହୁ ପ୍ରାଥମିକ ପରୀକ୍ଷା ଜିଙ୍କ୍ ସଲଫାଇଡ଼ ପରଦାରେ ସ୍ଫୁଲିଙ୍ଗ ଗଣି କରାଯାଇଥିଲା । ଯେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ ଆୟନକାରୀ କଣିକା ଜିଙ୍କ ସଲ୍‌ଫାଇଡ଼ ପରି ସ୍ଫଟିକ ଲାଟିସ୍ ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଗତି କରେ, ପୁଣି ପରେ ସଜାଡ଼ି ହୋଇଗଲାବେଳେ ଲାଟିସ୍‌ରୁ ସେହି ଶୋଷିତ ଶକ୍ତିରୁ କିଛି ଅଂଶ ଆଲୋକ ଆକାରରେ ବିକିରିତ ହୋଇପାରେ । ଏଠାରେ ଗୁରୁତ୍ୱପୂର୍ଣ୍ଣ କଥା ହେଲା ଯେ, ବିକିରିତ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ଲାଟିସ୍‌ଟି ଅଧିକ ଭାବରେ ଶୋଷଣ କରୁଥିବା କୌଣସି ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ହେବନାହିଁ । ଜିଙ୍କ ସଲ୍‌ଫାଇଡ୍ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଏ ପ୍ରକ୍ରିୟା Cu ବା Ag ପରି କୌଣସି ବସ୍ତୁର ସାମାନ୍ୟ ଖାଦ ରହିଥିବା ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିଥାଏ । ଜୈବିକ ଓ ଅଜୈବିକ ଉଭୟପ୍ରକାରର ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ବସ୍ତୁର ସେପ୍ରକାରର ଗୁଣ ରହିଅଛି । ଆଧୁନିକ ପ୍ରୟୋଗରେ ଗୋଟିଏ ଫଟୋଗୁଣକ ନଳୀ ସ୍ଫୁଲିଙ୍ଗ ସବୁ ଗଣିବାପାଇଁ ବ୍ୟବହୃତ ହେଉଅଛି ଏବଂ ସ୍ଫୁଲିଙ୍ଗରେ କ୍ଷୟ ହେଉଥିବା ଶକ୍ତି ପରିମାଣକୁ ଅନୁପାତୀ ପ୍ରତିକ୍ରିୟା ମିଳିଥାଏ । ଗୋଟିଏ ସାଧାରଣ ବ୍ୟବସ୍ଥା ଚିତ୍ର ୨୪·୧୧ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ସ୍ଫୁଲିଙ୍ଗ ଦ୍ୱାରା ବିକିରିତ ଆଲୋକ ଗୋଟିଏ ଆଲୋକ ପ୍ରତିକ୍ରିୟାଶୀଳ ପୃଷ୍ଠତଳରେ ସଂଗୃହୀତ ହୋଇଥାଏ । ଏହା ଫଟୋଗୁଣକ ନଳୀର କାଥୋଡ୍ ପରି କାର୍ଯ୍ୟ କରିଥାଏ । ଫଟୋଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଗୋଟିଏ ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ର ଦ୍ୱାରା ପ୍ରଥମ ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋଡ଼୍‌କୁ ତ୍ୱରାନ୍ୱିତ ହୋଇଥାଏ; ଏଥି

ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋଡ଼ଠାରେ ପ୍ରତି ଆଘାତକାରୀ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଦୁଇରୁ ଛଅଟି ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଦ୍ୱିତୀୟସ୍ତର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଉତ୍ପନ୍ନ କରିଥାଆନ୍ତି ଏବଂ ଏଗୁଡ଼ିକ ପୁଣି ଦ୍ୱିତୀୟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋଡ଼କୁ ଗତି କରିଥାଏ, ସେଠାରେ ପୁଣି ଗୁଣି ହୋଇଯାଇଥାଏ । ଏ ସମସ୍ତ ପ୍ରଣାଳୀ ଦଶ ବା ଅଧିକ ସ୍ତରରେ ଗୁଣି ହୋଇଯାଇଥାଏ; କିନ୍ତୁ ଏ ସମସ୍ତ ପାଇଁ 10^{-8} Sରୁ କମ୍ ସମୟ ଲାଗିଥାଏ; ଏପରି ଗୁଣି ହୋଇଥିବା ଫଳରେ ଗୋଟିଏ ଅସିଲୋସ୍କୋପର ପରଦାରେ ଧକ୍କାଟି ପରିଷ୍କାର ଦେଖାଯାଇଥାଏ ।

(ଗ) ବାଦଲ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ : ଗୋଟିଏ ଗ୍ୟାସ ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ଆୟନକାରୀ କଣିକାର ପଥ ବାଦଲ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ ସାହାଯ୍ୟରେ ଦୃଶ୍ୟମାନ ହୋଇପାରେ । ଏହି ପ୍ରକୋଷ୍ଠ ସି. ଟି. ଆର୍ ୱିଲସନ 1912ରେ ଉଦ୍ଭାବନ କରିଥିଲେ । ଏହି ପ୍ରଣାଳୀ ମୂଳତଃ ଗୋଟିଏ ସିଲିଣ୍ଡରା-କୃତି ବା ଆୟତାକାର ପ୍ରକୋଷ୍ଠରେ ଗୋଟି ସ୍ୱଚ୍ଛ ଝରକା ଲାଗି ଥାଏ । ଏହାର ଜମ୍ମ



[ଚିତ୍ର ୨୦·୧୧ ସ୍ଫୁଲିଙ୍ଗ ଗଣକ (ରେଖାଚିତ୍ର)]

ଦେଶରେ ଗୋଟିଏ ଗତିଶୀଳ ପିଷ୍ଟନ ବା ଗୋଟିଏ ନମନୀୟ ପରଦା ଥାଏ । ପ୍ରକୋଷ୍ଠ ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ଗ୍ୟାସ ଥାଏ ଓ ସେଥିରେ ଗୋଟିଏ ତରଳ ପଦାର୍ଥ ରଖାଯାଏ ଯାହାର କ ନୋଠଗ୍ରର ତାପମାତ୍ରାରେ ଯଥେଷ୍ଟ ବାଷ୍ପ ଚାପ ରହିଥାଏ; ଏଥିପାଇଁ ଜଳ ଓ ଇଥାଇଲ୍ ଆଲ୍‌କୋହଲର ଗୋଟିଏ ମିଶ୍ରଣ ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇଥାଏ । ବାଷ୍ପ ସାମ୍ୟାବସ୍ଥା ଲଭ କରିବା ପରେ ପରଦାଟିକୁ ବା ପିଷ୍ଟନଟିକୁ ହଠାତ୍ ଟାଣି ନେଇ ପ୍ରକୋଷ୍ଠଟିକୁ ପ୍ରସାର କରାଯାଇ-ଥାଏ । ଗ୍ୟାସ ହଠାତ୍ ଥଣ୍ଡା ହୋଇଯାଏ ଓ ବାଷ୍ପର ଅତିସନ୍ତୃପ୍ତ ଅବସ୍ଥା ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଥାଏ । କୌଣସି ଘନୀଭୂତକାରୀ ନାଭିକ୍ କ୍ଷେତ୍ର ନଥିଲେ ଅତିସନ୍ତୃପ୍ତ ଅବସ୍ଥା ବହୁ ସମୟ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ରହିଥାଏ । କିନ୍ତୁ ଯଦି କୌଣସି ଆୟନ ରହେ, ସେଗୁଡ଼ିକ ନାଭି ପରି କାର୍ଯ୍ୟ କରେ ଓ ସେଗୁଡ଼ିକ ଉପରେ ଜଳବିନ୍ଦୁ ଗଢ଼ି ଉଠେ । ତେଣୁ ଉପଯୁକ୍ତ ଆଲୋକପାତ କଲେ ଆୟନ-ଗୁଡ଼ିକ ପଥରେଖା ଦେଖିହେବ ଓ ଫଟୋ ଉଠାଇ ହେବ । ଯଦି ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ର ପ୍ରୟୋଗ କରାଯାଏ, ପଥଗୁଡ଼ିକ ବକ୍ର ହୁଏ ଓ ପୁନଃପାତ ପ୍ରତିବିମ୍ବମାନଙ୍କର ପରିମାପରୁ ଚୁମ୍ବକୀୟ କଠିନତା ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଇ ପାରିବ । ଯଦି କଣିକାର ଗତି ଅଣଆପେକ୍ଷିକୀୟ ହୁଏ ଅର୍ଥାତ୍ ଆଲୋକର ଗତିବେଗର ଅତି ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ ନହୁଏ, ସେଗୁଡ଼ିକର ଦୃଢ଼ ପଥଦୈର୍ଘ୍ୟ ମଧ୍ୟରେ ସାନ୍ଦ୍ରତା Z/ν ହିସାବ କରିବାପାଇଁ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇ ପାରିବ ।

(ଘ) ଫଟୋଗ୍ରାଫ୍ ପ୍ଲେଟ୍ : ପ୍ରାରମ୍ଭିକ ଗଣନା କରିବା ପ୍ରଣାଳୀମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ଗୋଟିକରେ ଫଟୋଗ୍ରାଫ୍ ପ୍ଲେଟ ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇଥାଏ । କେତେକ ପରିବର୍ତ୍ତନ କରାଯାଇ ଏହି ପ୍ରଣାଳୀ ଗୋଟିଏ ଅତ୍ୟାଧୁନିକ ପ୍ରଣାଳୀ ମଧ୍ୟ । ରଥରଫୋର୍ଡଙ୍କର ଓ ବେକରେଲଙ୍କର ପ୍ରାଥମିକ ଗବେଷଣା ଦ୍ରୁତ କ୍ଷିପ୍ର କଣିକାମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଫଟୋଗ୍ରାଫ୍ ପ୍ଲେଟ କଳା ହେବା ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିଥିଲା, ଇମଲସନରେ ଗୋଟିଏ ସିଲ୍‌ଭର ହାଲାଇଡ୍‌ର କଣିକା ନିକଟରେ କେତେକ ଶତକ ଆୟନ ଉତ୍ପନ୍ନ ହୋଇଯାଉଥିବାରୁ କଣିକାଟିକୁ ଧୋଇ ଦେଖାଇଦେବା ସମ୍ଭବ ହୋଇଥାଏ । (କେଉଁ କାରଣରୁ ସେଠାରେ ଆୟନ ସୃଷ୍ଟି ହୁଏ ସେ ବିଷୟ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣରୂପେ ଜଣା ପଡ଼ିନାହିଁ) । ଗୋଟିଏ ପ୍ଲେଟର ଅଳ୍ପ ଅଞ୍ଚଳରେ ଯେତେବେଳେ ସେପରି ଅନେକ ଘଟଣା ଘଟିଥାଏ, ସେ ଅଞ୍ଚଳଟି ଧୂଆଁ ପ୍ରଣାଳୀରେ କଳା ହୋଇଥାଏ । ସାଧାରଣତଃ ଇମଲ୍‌ସନ୍‌ରେ ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ପଦାର୍ଥର ତୁଳନାରେ ଅଳ୍ପ ପରିମାଣରେ ସିଲ୍‌ଭର ଥାଏ, ସେହି କାରଣରୁ ଜଣା ପଡ଼ିବା ଭଳି ଗୋଟିଏ ପ୍ରଭାବ ପାଇବାପାଇଁ ଅନେକ ଆୟନବାଷ୍ପ

ଘଟେ । ଘଟିଧା ଏହିବାର । ଆଜକାଲି ଯନ୍ତ୍ରପ୍ରଣାଳୀରେ ତାଆର ଇମଲ୍‌ସନ୍‌ରେ ଓଜନରେ ଶତକଡ଼ା 80ଭାଗରୁ ଅଧିକ ସିଲ୍‌ଭର୍ ହାଲାଇଡ୍ ରହୁଅଛି; ଏଦ୍ୱାରା ପ୍ରତିକ୍ରିୟାଶୀଳତା ବହୁ ପରିମାଣରେ ବଢ଼ି ଯାଇଅଛି । ଧୁଆ ହୋଇଥିବା ପ୍ଲେଟର ଅଣୁବୀକ୍ଷଣୀୟ ପରୀକ୍ଷାଦ୍ୱାରା ପ୍ରତି ଆୟନକାରୀ କଣିକାର ଗତିପଥ ସିଲଭର କଣିକାମାନଙ୍କର ପଥ ଆକାରରେ ଦେଖା-ଯାଇଅଛି । ଫଟୋଗ୍ରାଫ୍ ପ୍ଲେଟ୍ ପ୍ରଣାଳୀର ବହୁ ପ୍ରକାରର ବ୍ୟବହାର ରହିଅଛି, ବିଶେଷ କରି ନିଉକ୍ଲିୟର ଆଲୋଚନାରେ । ଏଥିରେ ଅତି ଶକ୍ତିଶାଳୀ କଣିକାମାନଙ୍କୁ ମଧ୍ୟ ରୋଧ ଦେବା ଲାଗି ଯଥେଷ୍ଟ ମୋଟା ଇମଲ୍‌ସନ୍ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇଥାଏ ।

(ଘ) ବୁଦ୍‌ବୁଦ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ : 1952ରେ ଗ୍ଲେସର ବୁଦ୍‌ବୁଦ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ ଉଦ୍ଭାବନ କରିଥିଲେ । ଏଥିରେ ଗୋଟିଏ ଦ୍ରୁତ କଣିକା, ବାଦଲ ପ୍ରକୋଷ୍ଠରେ ଗୋଟିଏ ଅତିପୃକ୍ତ ଗ୍ୟାସରେ ଗତି ନକରି, ଗୋଟିଏ ଅତିତାପୀ ତରଳ ପଦାର୍ଥ ମଧ୍ୟରେ ଗତି କରିଥାଏ । ତରଳ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ଥିବା ବୁଦ୍‌ବୁଦ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ ଅନେକ ଉଚ୍ଚଶକ୍ତି ପ୍ରକ୍ରିୟାର ଆଲୋଚନା ପାଇଁ ବିଶେଷ ଭାବରେ ମୂଲ୍ୟବାନ୍ । ଏଥିପାଇଁ ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ଆକାରର ବାଦଲ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ ମଧ୍ୟରେ କଣିକାମାନଙ୍କର ଗତିପଥ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣଭାବେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇପାରେନାହିଁ । ଦ୍ରୁତ କଣିକା ଗୋଟିଏ ଗ୍ୟାସ ଅପେକ୍ଷା ଗୋଟିଏ ତରଳପଦାର୍ଥରେ ପ୍ରତି ପଥଦୈର୍ଘ୍ୟ ମଧ୍ୟରେ ବହୁତ ବେଶୀ ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ସହିତ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଘଟାଇଥାଏ ଏବଂ ଏହାର ଶକ୍ତି ପୂର୍ବାପେକ୍ଷା ଅତି କମ୍ ଦୂରତା ମଧ୍ୟରେ ହରାଇ ବସାଇଥାଏ । ବୁଦ୍‌ବୁଦ ପ୍ରକୋଷ୍ଠରେ ତରଳ ପଦାର୍ଥକୁ ତା'ର ସ୍ଫୁଟନାଙ୍କର ଠିକ୍ ତଳକୁ ରଖି ବହୁ ଉଚ୍ଚ ଚାପରେ ରଖାଯାଇ-ଥାଏ । ଯେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ ଦ୍ରୁତ କଣିକା ଏହାସଙ୍ଗେ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରବେଶ କରେ, ଚାପ ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ କମାଇ ଦିଆଯାଏ । କଣିକାମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଉତ୍ପନ୍ନ ଆୟନ ସବୁ ନିଉକ୍ଲିୟସ ପରି କାର୍ଯ୍ୟକରେ ଓ ସେମାନଙ୍କ ଉପରେ ସୂତ୍ରଧାରେ ବୁଦ୍‌ବୁଦ ସବୁ ଗଢ଼ି ଉଠେ । ବୁଦ୍‌ବୁଦ ପଥଗୁଡ଼ିକର ଫଟୋ ଉଠାଯାଏ ଓ ସାଧାରଣ ଫୁଟନ୍ତା ଅବସ୍ଥା ସୃଷ୍ଟି ପୂର୍ବରୁ ଉଚ୍ଚ ଚାପ ଅବସ୍ଥା ଫେରାଇ ଅଣାଯାଇଥାଏ ।

(ଡ) ସ୍ପାର୍କ ଓ ଝଟକ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ : ଯଦି ଗୋଟିଏ ଧାତବ ପ୍ଲେଟ ବା ତାର୍ ଗୋଟିଏ ଉଚ୍ଚ ବିଭବକୁ ଚାର୍ଜ କରାଯାଏ ଓ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ପରିବାହୀ ନିକଟରେ ରଖାଯାଏ, ଦୁଇ ପରିବାହୀ ମଧ୍ୟସ୍ଥ ଫାଙ୍କାକୁ ଗୋଟିଏ ସ୍ପାର୍କ ଡେଇଁଯାଇପାରେ । ଏତେବେଳେ ସେହି

ତାଙ୍କରେ ଗୋଟିଏ ଅପ୍ସନ "ବନ୍ଧ" ଗୋଟିଏ ଆୟନକାରୀ କଣିକା ଗତି କରିବାଦ୍ୱାରା ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଥାଏ । ଗୋଟିଏ ସାଧାରଣ ସ୍ପାର୍କରେ ବ୍ୟବହୃତ ସ୍ପାର୍କ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ପାଖାପାଖି ହୋଇ ରଖାଯାଇଥିବା ସମାନ୍ତର ଧାତବ ପ୍ଲେଟ ରହି ଏକାନ୍ତର ପ୍ଲେଟକୁ ଉଚ୍ଚ ବିଭବକୁ ଚାର୍ଜ କରିବାଦ୍ୱାରା ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଥାଏ; ଗୋଟିଏ ଆୟନକାରୀ କଣିକା ପହଞ୍ଚିବା ଦ୍ୱାରା ଗୋଟିଏ ଛୋଟ ଧକ୍କା ସୃଷ୍ଟି ହୋଇ ଏହି ଉଚ୍ଚ ବିଭବ ଉତ୍ପନ୍ନ କରିଥାଏ । ପ୍ଲେଟମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟସ୍ଥ ଅଞ୍ଚଳକୁ ପୂର୍ଣ୍ଣ କରୁଥିବା ନୋବଲ୍ ଗ୍ୟାସ ମଧ୍ୟରେ (ସାଧାରଣତଃ ହିଲିୟମ୍ ଓ ନିୟନର ମିଶ୍ରଣ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଏ) ସ୍ପାର୍କ ନେଇଯାଏ, ସ୍ପାର୍କର ଅବସ୍ଥିତି ଜଣାଗଲେ ସେଥିରୁ କଣିକାଟିର ଗତିପଥ ଜଣାଯାଏ । ସ୍ପାର୍କର ପଥକୁ ଫଟୋଗ୍ରାଫ୍ କରାଯାଏ ଓ ବାଦଲ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ ଫଟୋଗ୍ରାଫ୍ ପରି ବିଶ୍ଳେଷଣ କରାଯାଏ । ଆଉ ଗୋଟିଏ ପ୍ରକାରରେ ସ୍ପାର୍କ ପ୍ରକୋଷ୍ଠରେ ସ୍ପାର୍କର ପଥ ଜାଣିବାପାଇଁ ଦ୍ୱିବିମିତିକ ସମାନ୍ତର ତାର ଜାଲି ବ୍ୟବହାର କରାଯାଏ । ଏଥିରେ ସ୍ପାର୍କ ପଥ ଜାଣିବାରେ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ସିଗ୍ନାଲକୁ ଗୋଟିଏ କମ୍ପ୍ୟୁଟରକୁ ସିଧାସଳଖ ଲଗାଇ ଦିଆଯାଇଥାଏ ।

ଗୋଟିଏ ଝଟକ ପ୍ରକୋଷ୍ଠରେ ପରିବାହୀମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ଅତି ଛୋଟ ଧକ୍କା ପ୍ରୟୋଗ କରାଯାଏ । ଧକ୍କା ଏତେ ଛୋଟ ହୋଇଥାଏ ଯେ, ଏହା ଅତି ସାନ ସାନ ସ୍ଫୁଲିଙ୍ଗ ସୃଷ୍ଟି କରେ । ଏଗୁଡ଼ିକୁ ଝଟକ କହନ୍ତି । ଏଗୁଡ଼ିକ କଣିକାର ଗତିପଥରେ ରହିଥାଏ । କ୍ଷେତ୍ରକୁ ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ଫଟୋଗ୍ରାଫ୍ ନିଆଯାଉଥିବାରୁ, ଗତିପଥଟି ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ସମାନ୍ତରଭାବେ ଥିବା ଝଟକର ସମାହାର ହୋଇଥାଏ; କ୍ଷେତ୍ରର ରେଖାଗୁଡ଼ିକୁ ସମାନ୍ତର କରି ଫଟୋ ନେଲେ ପଥଟି ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ବିନ୍ଦୁପରି ଦେଖାଯାଏ । ଝଟକଗୁଡ଼ିକ ଯଥାସ୍ଥାନରେ ରହିଥାନ୍ତି ଓ ପରିବାହୀରୁ ପରିବାହୀକୁ ବ୍ୟାପି ଯାଆନ୍ତି ନାହିଁ । ଫଳରେ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ ପରିବାହୀମାନଙ୍କୁ ସମାନ୍ତର କରି ଗୋଟିଏ ପଥକୁ delineate କରିପାରେ ଓ ଏକ ସମୟରେ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ପଥ ଦର୍ଶାଇ ଦେଇପାରେ । ସ୍ପାର୍କ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ ତୁଳନାରେ ଏପ୍ରଣାଳୀରେ ଏହା ବିଶେଷ ସୁବିଧା ।

ପ୍ରଶ୍ନାବଳୀ

୧ । $\tau_a = CZ^4\lambda^3$ ବୋଲି ଅନୁମାନ କର (ଏଠାରେ $C = 2{\cdot}0 \times 10^{-30} m^2/A^{\circ 3}$ ଓ $\sigma_a = Z\sigma_e$ ନେଇ କପରର λ $0{\cdot}2A^\circ$ ଓ $\lambda = 0{\cdot}7A^\circ$ ପାଇଁ ପାରମାଣବିକ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ହିସାବରେ ବାଉନ୍ଦରେ ଏ ମୂଲ୍ୟଗୁଡ଼ିକ ଯଥାକ୍ରମେ 164 ଓ 512 *barns*) ।

୨ । ସମୀକରଣ (୨୪·୭ କ, ଖ)ରୁ ଆରମ୍ଭ କରି ସମୀକରଣ (୨୪·୭), (୨୪·୯) ଓ (୨୪·୯କ) ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ କର ।

୩ । ସମୀକରଣ (୨୪·୧୦) ପାଇଁ ଲକ୍ଷଣଗୁଡ଼ିକରେ ଅସିମଟୋଟିକ୍ ଲକ୍ଷଣଗୁଡ଼ିକ ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ କର [ସମୀକରଣ (୨୪·୧୦ଖ)] ଏବଂ କ୍ଷେତ୍ରମାନଙ୍କ ପାଇଁ ∈ରେ ଥିବା ପଦକୁ ପ୍ରଥମ ଶକ୍ତି କର ଏବଂ ବ୍ୟୁତ୍ପନ୍ନ କର ସମୀକରଣ (୨୪·୧୦କ)ରେ ଥିବା ପ୍ରଥମ ଦୁଇ ପଦ] ।

୪ । 20MeV ବ୍ରେମଷ୍ଟ୍ରାଲଙ୍ଗ ପାଇଁ ମାଗ୍ନେସିୟମର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବିକିରଣଙ୍କ ହିସାବ କର ।

୫ । ପ୍ରତି ଗ୍ରାମ୍ ଶୁଷ୍କ ବାୟୁରେ 1rର ଗୋଟିଏ ଅନାବୃତ ଚୋଟକଦ୍ୱାରା ଉତ୍ପନ୍ନ ଆୟନ ଯୁଗଳମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ହିସାବ କର । ବାୟୁଦ୍ୱାରା ଗୋଟିଏ ଆୟନ ଯୁଗଳ ଉତ୍ପନ୍ନ କରିବାପାଇଁ 33eV ଦରକାର ହୁଏ ବୋଲି ଅନୁମାନ କରି ପ୍ରତି ଗ୍ରାମ ଶୁଷ୍କ ବାୟୁରେ 1r ଅନାବୃତ ଚୋଟକଦ୍ୱାରା କେତେ ଶକ୍ତି ଅପସରଣ ହୋଇଥାଏ ହିସାବ କର ।

୬ । ଗୋଟିଏ 1·5meV ଫୋଟନର ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ 0·8cm ବେଧର ଗୋଟିଏ ସୋଡ଼ିୟମ ଆୟୋଡାଇଡ୍ ସ୍ଫଟିକ ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଗତି କରେ । ଚିତ୍ର ୨୦·୪ ସାହାଯ୍ୟରେ ଆପତନ ତୀବ୍ରତାର କେତେ ଭଗ୍ନାଂଶ, (କ) ଗୋଟିଏ ସରୁ-ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ପରୀକ୍ଷାରେ ଓ (ଖ)

ଗୋଟିଏ ଚଉଡ଼ା ଓଣ୍ଡି ଗୃହ ପରୀକ୍ଷାରେ ସ୍ପୃକ୍ତିକରୁ ଅନ୍ୟପଟେ ଦେଖାଦେବ ହିସାବ କର ।

୭ । ପ୍ରମାଣ କର ଯେ ଗୋଟିଏ ଫୋଟନ ଲଭ କରୁଥିବା ସର୍ବନିମ୍ନ ଶକ୍ତି 2·04MeV ହେଲେ ଏହା ଗୋଟିଏ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନରେ ଗୋଟିଏ ଯୁଗଳ ଉତ୍ପନ୍ନ କରିପାରିବ ।

୮ । ଗୋଟିଏ 10MeV ପ୍ରୋଟନ ପ୍ରଥମରୁ ସ୍ଥିରଥିବା ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନକୁ କେତେ ସର୍ବାଧିକ ଶକ୍ତି ସ୍ଥାନାନ୍ତର କରିପାରେ ହିସାବ କର ।

୯ । ଗୋଟିଏ କଣିକାର ବିଶିଷ୍ଟ ଆୟନନ ଏକକ ପଥଦୈର୍ଘ୍ୟ ମଧ୍ୟରେ ଉତ୍ପନ୍ନ ହେଉଥିବା ଆୟନ ଯୁଗଳ ସଂଖ୍ୟା । ଯଦି ହାରାହାରି 33eV ବାୟୁରେ ଗୋଟିଏ ଆୟନ ଯୁଗଳ ଉତ୍ପନ୍ନ କରିବାପାଇଁ ଦରକାର ହୋଇଥାଏ, ପ୍ରମାଣ ବାୟୁର ରୋଧକ କ୍ଷମତା ଓ ବିଶିଷ୍ଟ ଆୟନନ 9 – , 4 – ଓ 2 – MeV α କଣିକାମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଚିତ୍ର ୨୪·୮ରୁ ବାହାର କର ।

୧୦ । 1 · meV ପ୍ରୋଟନମାନଙ୍କ ପାଇଁ କପରର ପାରମାଣବିକ ରୋଧକ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦର ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ମୂଲ୍ୟ ହେଉଛି $1{\cdot}3 \times 10^{-18}$ eV – m^2/atom । ଏହି ମୂଲ୍ୟରୁ Cu ର ପାରମାଣବିକ ରୋଧକ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ 4 – meV α କଣିକାମାନଙ୍କ ପାଇଁ ହିସାବ କର । ଏହାର ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ମୂଲ୍ୟ ହେଉଛି $5{\cdot}1 \times 10^{-18}$ eV - m^2/atom ।

୧୧ । $-\frac{dE}{dx}$ କୁ 5 - meV ଓ 20meV α-କଣିକାମାନଙ୍କ ପାଇଁ ବାୟୁରେ ସମୀକରଣ (୨୪·୧୮) ବ୍ୟବହାର ହିସାବ କର । ଚିତ୍ର ୨୪·୮ର ଅନ୍ତର୍ନିହିତ ମୂଲ୍ୟମାନଙ୍କ ସହ ଏହି ମୂଲ୍ୟ ତୁଳନା କର ।

୧୨ । ଦୃଶ୍ୟମାନ ଅଞ୍ଚଳରେ ପ୍ରୋଟନମାନଙ୍କ ପାଇଁ କାଚ, ଲ୍ୟୁସାଇଟ୍ ଓ ମାଇକା ଲଗି ପ୍ରତିସରଣାଙ୍କ ହେଉଛି ପ୍ରାୟ 1·5 । ଚେରେଙ୍କୋଭ ବିକିରଣ ଲଗି କୋଣ θ, (କ) ଗୋଟିଏ 100 meV ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଓ (ଖ) ଗୋଟିଏ 1 GeV ପ୍ରୋଟନ ପାଇଁ ହିସାବ କର ।

୧୩ । ସେରେଙ୍କୋଭ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମର ଛୋଟ ତରଙ୍ଗ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ଅଞ୍ଚଳରେ ଫୋଟନଗୁଡ଼ିକ ଜମା ହୋଇଯାଏ ବୋଲି λ ଓ $\lambda+d\lambda$ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ମଧ୍ୟରେ ଫୋଟନମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା $1/\lambda^2$ ପ୍ରତି ଅନୁପାତୀ, ଏହା ପ୍ରମାଣ କରି ଦେଖାଅ ।

୧୪ । (କ) ସମୀକରଣ (୨୪·୨୦)ରୁ ଦେଖାଅ ଯେ, λ_1 ଓ λ_2 ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରତି ଦୈର୍ଘ୍ୟ Lରୁ ଜନ୍ମିତ ସେରେଙ୍କୋଭ ଫୋଟନମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା N ହେଲା,

$$\frac{N}{L}=\frac{\pi Z^2e^2}{\in_0 hc}\left(1-\frac{c^2}{V^2n^2}\right)\left(\frac{1}{\lambda_1}-\frac{1}{\lambda_2}\right)$$

ଏଠାରେ n ପ୍ରଶ୍ନରେ ଥିବା ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ପରିସର ମଧ୍ୟରେ ମୂଳତଃ ଧ୍ରୁବ ।

(ଖ) ଯେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ $V\simeq c$ ବିଶିଷ୍ଟ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ $n=1.33$ ବିଶିଷ୍ଟ ଜଳ ମଧ୍ୟରେ ଗତି କରେ, 4000 ଓ 6000 A° ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରତି ସେଣ୍ଟିମିଟର ପଥଦୈର୍ଘ୍ୟ ମଧ୍ୟରେ କେତୋଟି ଫୋଟନ ଜନ୍ମିତ ହୋଇଥାଏ ?

୧୫ । ଗୋଟିଏ ଉଚ୍ଚ ସଂବେଗ ବିଶିଷ୍ଟ କଣିକାମାନଙ୍କ ବାଛିବାପାଇଁ ବ୍ୟବହୃତ ଗୋଟିଏ ରଶ୍ମିପୁଞ୍ଜ ବିଶ୍ଳେଷକ ମଧ୍ୟରେ ମ୍ୟୁଅନ ଓ ପିଅନ ପାଇଅନଗୁଡ଼ିକ ଗତି କରେ । କେତେକ ଶକ୍ତି ପରିସରରେ ସେରେଙ୍କୋଭ ଗଣକ ବ୍ୟବହାର ଦ୍ୱାରା ରଶ୍ମିପୁଞ୍ଜର କେଉଁ କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ମ୍ୟୁଅନ କହିବା ସମ୍ଭବ । କେଉଁ ସଂବେଗ ପରିସରରେ (meV/c ଏକକରେ) 1·33 ପ୍ରତି ସରଣାଙ୍କ ବିଶିଷ୍ଟ ସେରେଙ୍କୋଭ ଗଣକ ଗୋଟିଏ ମ୍ୟୁଅନ ପାଇଁ ସକ୍ରିୟ ହେବ, କିନ୍ତୁ ସେହି ସଂବେଗବିଶିଷ୍ଟ ପାଇଅନ ପାଇଁ ଗଣନା ହେବନାହିଁ ।

ପଞ୍ଚବିଂଶ ଅଧ୍ୟାୟ

ନିଉକ୍ଲିୟସ୍

ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ସ୍ଫଟିକାକୃତିରେ ସମାବେଶର ଆଲୋଚନାରୁ ଆମେ ବର୍ତ୍ତମାନ ପାରମାଣବିକ ନିଉକ୍ଲିୟସ୍ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଅଧିକ ଆଲୋଚନା କରିବାକୁ ଯିବା; ଏବେଠାରୁ ସେମାନଙ୍କର ଗଠନ ଓ ଗୁଣ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଆଲୋଚନା କରିବା । ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କରୁ ବିକିରିତ ହେଉଥିବା ସମସ୍ତ ରଶ୍ମିମାନଙ୍କର ଆବିଷ୍କାର ପରେ ଏହି ରଶ୍ମିଗୁଡ଼ିକ ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କରେ ରୂପାନ୍ତର ସଂଘଟନ କରିବାକୁ ସମର୍ଥ ହୋଇପାରେ ବୋଲି ଅନେକ ବୈଜ୍ଞାନିକଙ୍କର ମନେ ହେଲା । ସ୍ଥାୟୀ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥଗୁଡ଼ିକୁ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ବସ୍ତୁମାନଙ୍କ ସହ ମିଶାଇ ଅନେକ ପରୀକ୍ଷା କରାଗଲା ଏବଂ ରୂପାନ୍ତରଣର ଫଳାଫଳ ରସାୟନିକ ବିଶ୍ଳେଷଣ ପ୍ରଣାଳୀରେ ଖୋଜାଗଲା । 1907 ମସିହାରେ ଜଳରୁ ଏହି ପ୍ରଣାଳୀରେ ଆର୍ଗନ ଓ ନିୟନ ମିଳି ପାରିଥିଲା ବୋଲି ରିପୋର୍ଟ ମିଳିଥିଲା; କିନ୍ତୁ ପରେ ଅଧିକ ପରୀକ୍ଷା ଫଳରେ ଏହି ଦାବୀ ପ୍ରତିଷ୍ଠିତ ହୋଇପାରିଲା ନାହିଁ; ତେଣୁ ପୂର୍ବ ଲବ୍ଧଫଳ ଦୂଷିତତା ଲାଗି ମିଳିଥିଲା ବୋଲି ଅନୁମାନ କରାଗଲା । ପ୍ରକୃତରେ ଏହି ପ୍ରଣାଳୀରେ ଏତେ ଅଳ୍ପ ସଂଖ୍ୟକ ପରମାଣୁର ରୂପାନ୍ତର ଘଟିବ ଯେ ରସାୟନିକ ବିଶ୍ଳେଷଣରେ ସେ ବସ୍ତୁକୁ ନିର୍ଦ୍ଧାରଣ କରିବା ସମ୍ଭବ ନୁହେଁ । ଯେପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଗୋଟିଏ ରୂପାନ୍ତରଣ ଘଟଣାରୁ ଘଟଣାଟି ଭେଦ କରାଯାଇ ପାରିବା ଭଳି ଉପାୟ ବାହାରି ନଥିଲା, ସେପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ କୃତ୍ରିମ ରୂପାନ୍ତରଣ ପରୀକ୍ଷାଦ୍ୱାରା ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇ ପାରିନଥିଲା ।

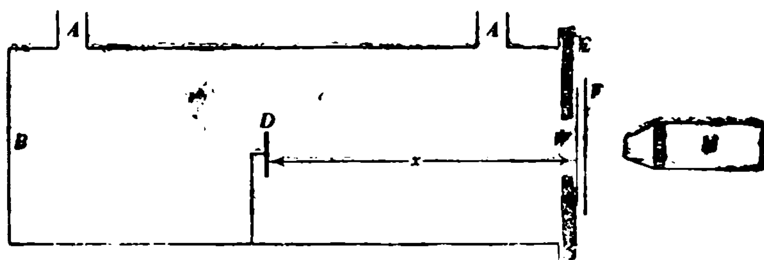
25·1 କୃତ୍ରିମ ରୂପାନ୍ତରଣର ଆବିଷ୍କାର

1919 ମସିହାରେ ରୁଥରଫୋର୍ଡ଼ ପ୍ରଥମେ କୃତ୍ରିମ ରୂପାନ୍ତରଣର ପରୀକ୍ଷାମୂଳକ ପ୍ରମାଣ ନେଇଥିଲେ । ବିଭିନ୍ନ ଗ୍ୟାସରେ α କଣିକାମାନଙ୍କର ବିଚ୍ଛୁରଣ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ପରୀକ୍ଷା କଲାବେଳେ ସେ ଏହା ପ୍ରତିଷ୍ଠା କରିଥିଲେ । ଚିତ୍ର ୨୫·୧ରେ ଏ ଏହି ପରୀକ୍ଷାମାନଙ୍କରେ ବ୍ୟବହାର କରିଥିବା ସରଞ୍ଜାମ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଗୋଟିଏ ଭ୍ୟାକୁମ ପାଇଁ ମୁଦା ପ୍ରକୋଷ୍ଠ Bରେ Po^{214}ର ଗୋଟିଏ ଉତ୍ସ ଦେଖାଯାଇଛି । ଏହି ଉତ୍ସରୁ ବାୟୁର ସାଧାରଣ ଅବସ୍ଥାରେ 7ସେ. ମି. ଦୂର ଯିବାଭଳି α କଣିକାସବୁ ନିର୍ଗତ ହେଉଛନ୍ତି । ପ୍ରକୋଷ୍ଠର ଶେଷ ଭାଗରେ ଗୋଟିଏ ପାତଳ ରୂପା ଫଳକ W ଗୋଟିଏ ଛିଦ୍ର ଆବରଣ କରି ରହିଛି । ଫାଟ ଦେଇ ଆସୁଥିବା କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ଗୋଟିଏ ସ୍ଫୁଲିଙ୍ଗ ଦେବା ଜିଙ୍କ୍ ସଲ୍‌ଫାଇଡ୍ ପରଦା Fରେ ପଡ଼ି ଅଣୁବୀକ୍ଷଣ ଯନ୍ତ୍ର M ଦ୍ୱାରା ଗଣାଯାଉଛନ୍ତି । ଫାଟ W ଓ ପରଦା F ମଧ୍ୟରେ ଶୋଷକ ଫଳକ ସବୁ ରଖିବାର ବ୍ୟବସ୍ଥା ହୋଇଅଛି । ଫାଟ W ଓ ପରଦା F ମଧ୍ୟରେ ଦୂରତା Xକୁ ପରିବର୍ତ୍ତନ କରିବାର ବ୍ୟବସ୍ଥା ମଧ୍ୟ କରାଯାଇଛି । ଏ ସମସ୍ତ ସରଞ୍ଜାମକୁ ଏକ ଅନୁପ୍ରସ୍ଥ ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ରରେ ରଖି β ରଶ୍ମିଗୁଡ଼ିକ ଦୂର କରି ଦିଆଯାଇଛି । 1919 ମସିହାରେ ମାର୍ସେଡ଼େନ କରିଥିବା ପ୍ରଥମ ପରୀକ୍ଷାମାନଙ୍କରେ ପ୍ରକୋଷ୍ଠରେ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ଗ୍ୟାସ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇଥିଲା ଏବଂ ପ୍ରାୟ 28 ସେ. ମି. ବାୟୁର ସମତୁଲ୍ୟ ଶୋଷକ ବ୍ୟବହାର କରି ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ଅପସରଣ ଫଳରେ ଘଟୁଥିବା ସ୍ଫୁଲିଙ୍ଗକୁ ଲକ୍ଷ୍ୟ କରାଯାଇଥିଲା । ଲବ୍ଧ ସର୍ବାଧିକ ଗତିପଥ ଆଶା କରାଯାଉଥିବା ଦୂରତା ସଙ୍ଗେ ମେଳ ଖାଉଥିଲା । M_o ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ଆପତନ କଣିକା ଓ M_1 ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ବାଧାପ୍ରାପ୍ତ କଣିକା ମଧ୍ୟରେ ସଂବେଗ ଶକ୍ତି ସଂରକ୍ଷଣ ହେଉଛି ବୋଲି ବିଚାର କଲେ, ଅନ୍ତରିତ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ହେବ,

$$E = E_o \frac{4M_o M_1}{(M_o + M_1)^2} \sin^2 \frac{\theta}{2} \qquad (୨୫·୧)$$

ଏଠାରେ θ ଅପତନ କଣିକାର ବିକ୍ଷେପଣ କୋଣ ଏବଂ E_o ହେଲା ପ୍ରାରମ୍ଭିକ ଶକ୍ତି । ଗୋଟିଏ Po^{214} α କଣିକା ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନ୍ ସହିତ ମୁହାଁମୁହିଁ ଧକ୍କା ଲଗିଲେ, ସର୍ବାଧିକ ପରିମାଣର ଅନ୍ତରିତ ହେବା ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ହେବ 16/25 × 7·680 ଅ. ଇ. ଭୋ. = 4·9 ଅ. ଇ. ଭୋ. ଏବଂ ଏହିପରି ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନର ସର୍ବାଧିକ ଗତିପଥ ବାୟୁରେ

32.5 ସେ. ମି. (ଚିତ୍ର ୨୪.୮) ହେବ । ଏହି ଫଳ ମାର୍ସଡ୍ରେନ ପରୀକ୍ଷାରୁ ପାଇଥିବା ଫଳ ସହିତ ମୋଟାମୋଟି ମିଳିଯାଉଅଛି ।



[ଚିତ୍ର ୨୫.୯ α କଣିକାମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ସଙ୍ଘଟିତ ହୋଇ ପ୍ରୋଟନ ମିଳିବା ରୁଥରଫୋର୍ଡ ଯେଉଁ ଯନ୍ତ୍ର ସାହାଯ୍ୟରେ ଲକ୍ଷ୍ୟ କରିଥିଲେ । ଗତିଶୀଳ ଉତ୍ସ Dଠାରେ ଅଛି । ଗ୍ୟାସରେ ରୂପାନ୍ତରଣ ଫଳରେ ଉତ୍ପାଦିତ କଣିକାସବୁ ପରଦା Fକୁ ଆଘାତ କରି ସୃଷ୍ଟି କରୁଥିବା ସ୍ଫୁଲିଙ୍ଗ ଅଣୁବୀକ୍ଷଣ ଯନ୍ତ୍ର Mରେ ଦେଖାଯାଏ]

ହାଇଡ୍ରୋଜେନରେ କେତେକ ବିଶେଷ ଘଟଣା ପରିଲକ୍ଷିତ ହେବାରୁ 1919ରେ ରୁଥରଫୋର୍ଡ ପ୍ରକୋଷ୍ଠରେ ବାୟୁ ନେଇ କେତେକ ପରୀକ୍ଷା କଲେ । ଏଥିରେ ସେ ଆଶା କରୁନଥିବା ଅଧିକ ଗତିପଥ ବିଶିଷ୍ଟ କଣିକାସବୁ ପୁଣି ଥରେ ଦେଖି ପାରିଲେ । ଆଉ ଅଧିକ ପରୀକ୍ଷା କରିବାରୁ ଜଣାଗଲା ଯେ ନାଇଟ୍ରୋଜେନ୍ ଲାଗି ଏହି ଫଳ ଘଟୁଅଛି; ଅକ୍ସିଜେନ ବା କାର୍ବନ ଡାଇଅକ୍ସାଇଡ୍ ଏହିଭଳି କଣିକାସବୁ ସୃଷ୍ଟି କରି ପାରୁନାହାନ୍ତି ଏବଂ ଏହି କଣିକାମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ଏତେ ବେଶୀ ଯେ ଏଥିରେ ରହିଯାଇଥିବା ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ଲାଗି ଏପରି ଘଟୁଛି ବୋଲି କହିବା ସମ୍ଭବ ନୁହେଁ । ଏହି କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରୋଟନ ହେବାର ସମ୍ଭାବନା ଅଛି ବୋଲି ସ୍ଥୂଳ ଚୁମ୍ବକୀୟ ପରୀକ୍ଷାରୁ ସୂଚନା ମିଳିଲା । ରୁଥରଫୋର୍ଡ ସିଦ୍ଧାନ୍ତ କଲେ ଯେ ନାଇଟ୍ରୋଜେନର ନଉକ୍ଲିୟସକୁ α କଣିକାମାନଙ୍କର ଆଘାତଦ୍ୱାରା ଏଗୁଡ଼ିକ ବିସ୍ଥାପିତ ହୋଇଛନ୍ତି । ଏକ ଅୟୁତ α କଣିକାମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଏହି ସଂଖ୍ୟା 1 ଥିଲା । 1922ରେ ରୁଥରଫୋର୍ଡ ଓ ଷ୍ଟ୍ରଦରଉଡଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଏହି କାର୍ଯ୍ୟ ବ୍ୟାପକ ହୋଇଥିଲା ଏବଂ

ନାଇଟ୍ରୋଜେନରୁ 40 ସେ. ମି. ଗତିପଥ ଥିବା ଭଳି ପ୍ରୋଟନ ମଧ୍ୟ ଲକ୍ଷ୍ୟ କରଯାଇ-ଥିଲା । ବୋରନ, ଫ୍ଲୋରନ, ସୋଡ଼ିୟମ, ଆଲୁମିନିୟମ ଓ ଫସ୍‌ଫରସ୍ ଏହି ପାଞ୍ଚଟି ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ ବ୍ୟବହାର କରି ସେମାନେ ଦୀର୍ଘ ଗତିପଥ ବିଶିଷ୍ଟ କଣିକା ସବୁ ଦେଖି ପାଇଥିଲେ । ଆଲୁମିନିୟମକୁ ଆଘାତ କରି 90 ସେ. ମି. ବାୟୁ ସମତୁଲ ଗତିପଥ ବିଶିଷ୍ଟ ପ୍ରୋଟନ ସେମାନେ ଦେଖି ପାଇଥିଲେ । ଏହି ପରୀକ୍ଷାର ଏକ ପୁନଃବର୍ଣ୍ଣନାରେ (1924) ସେମାନେ α କଣିକାମାନଙ୍କର ଗତିପଥକୁ 90° କୋଣ କରି ପ୍ରୋଟନ ଦେଖିବାର ବର୍ଣ୍ଣନା କରିଥିଲେ । ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ଦୂଷିତ ପଦାର୍ଥ ଭାବରେ ରହି ଯାଇଥିଲେ, ଏପରି କୋଣରେ ସ୍ଥିତି ସ୍ଥାପକ ଆଘାତ ଫଳରେ ପ୍ରୋଟନ ମିଳିବା ସମ୍ଭବ ନୁହେଁ । ସେମାନେ ନିଶ୍ଚିତ ହେଲେ ଯେ ଏହି ସବୁ ସାହାଯ୍ୟରେ 7 ସେ. ମି. ଗତିପଥରୁ ଅଧିକ ଦୈର୍ଘ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ (α କଣିକା-ମାନଙ୍କର ସର୍ବାଧିକ ଗତିପଥ ହେଲା 7 ସେ. ମି.) ଯେତେ କଣିକାର ସେମାନେ ସନ୍ଧାନ କରିଛନ୍ତି, ସେ ସମସ୍ତେ ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ବିଚ୍ଛୁରଣ ବ୍ୟତୀତ ଅନ୍ୟ ପ୍ରଣାଳୀରେ ହୋଇଛନ୍ତି । ବିଭିନ୍ନ ବାଧାପ୍ରାପ୍ତ ବସ୍ତୁ ନେଇ ସେମାନେ ଦେଖିଲେ ଯେ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ, ହିଲିୟମ, ଲିଥିୟମ, ବେରିଲିୟମ, କାର୍ବନ ଓ ଅକ୍ସିଜେନକୁ ଛାଡ଼ିଦେଲ ପଟାସିୟମ ଓ ସେପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଥିବା ସମସ୍ତ ହାଲୁକା ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥକୁ ବିଘଟନ କରଯାଇପାରିବ ।

ବାଧାପ୍ରାପ୍ତ ନିଉକ୍ଲିୟସ୍‌ରୁ α କଣିକା ପ୍ରୋଟନକୁ ଧକ୍କା ଦେଇ ବାହାର କରି ଦେଉଛି ବୋଲି ରୁଥରଫୋର୍ଡ଼ଙ୍କର ମୂଳ କଳ୍ପନା କେବଳ ଆଂଶିକ ଭାବରେ ଠିକ୍ ହୋଇଥିଲା । ନାଇଟ୍ରୋଜେନ୍ ମଧ୍ୟରେ α କଣିକାମାନଙ୍କର ଗତିର ମେଘପ୍ରକୋଷ୍ଠ ଛବି ନେବାରେ ବ୍ଲାକେଟ୍ ଆଠଟି ବିଘଟନର ଫଟୋ ପାଇଥିଲେ (415000ଟି α କଣିକାର ଗତିପଥର ଫଟୋ ନେବାରେ ଏହି ଆଠଟି ମିଳିଥିଲା) । ଏହି ଆଠଟି ଘଟଣାରେ α କଣିକାର ଗତିପଥ ଗୋଟିଏ ବୋନ୍‌ନକାରେ ଶେଷ ହୋଇଥିଲା । ଏଥିରୁ ଗୋଟିଏ କେନାରେ ଏକ ଅଳ୍ପ ଅଯୁନକାରୀ କଣିକା ଥିଲା ଓ ଏହା ପ୍ରୋଟନ ବୋଲି ସ୍ଥିର ହୋଇଥିଲା; ଅନ୍ୟଟିରେ ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ଆଘାତରେ ନାଇଟ୍ରୋଜେନର ଓଜନିଆ ପରମାଣୁ ଯେପରି ଗୁଣ ପ୍ରକାଶ କରେ ସେପରି ଗୁଣବାନ୍ ଏକ ଓଜନିଆ ବସ୍ତୁର ଅପସରଣ ହୋଇଥିଲା । ଆଘାତ ପରେ କୌଣସି କ୍ଷେତ୍ରରେ ନିଜେ α କଣିକା ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ତୃତୀୟ ପଥ ଦେଖାଯାଇ ନଥିଲା । ଏଥିରୁ ସିଦ୍ଧାନ୍ତ ହେଲା ଯେ α କଣିକାଟି ନିଉକ୍ଲିୟସରେ

ଶୋଷିତ ହୋଇଥାଏ, ଏଥିରୁ ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନ ବାହାରିଥାଏ ଏବଂ ଅବଶିଷ୍ଟ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସଟି 3 ଏକକ ଅଧିକ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବିଶିଷ୍ଟ ଓ ଏକ ଏକକ ଅଧିକ ସ୍ୱର୍ଣ୍ଣ ବିଶିଷ୍ଟ ହୋଇଥାଏ । ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ପ୍ରକ୍ରିୟା ଭାଷାରେ, ରୁଥରଫୋର୍ଡ଼, ସ୍ୱଦଉଇକ୍ ଓ ବାକେଟ ଦେଖିଥିବା ଘଟଣାକୁ ଲେଖିବା



$$_7N^{14} + {}_2He^4 \rightarrow {}_8O^{17} + {}_1H^1$$

ଏଠାରେ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଓ ସ୍ୱର୍ଣ୍ଣ ସଂଖ୍ୟାର ସଂରକ୍ଷଣ ପ୍ରକାଶ୍ୟଭାବରେ ଦର୍ଶାଯାଇଛି । 1925 ମସିହାରେ ସାଧାରଣ ଅମ୍ଳଜାନରେ O^{17}ର ଉପସ୍ଥିତ ଅଜଣା ଥିଲା ।

ପ୍ରୋଟନର ଲବ୍ଧ ଗତିପଥର ସର୍ବାଧିକ ଦୈର୍ଘ୍ୟରୁ ନିଷ୍କାସିତ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ହିସାବ କରିହେବ । ନାଇଟ୍ରୋଜେନ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଏହି ପରିମାଣ ବସ୍ତୁକ ହୋଇଗଲା ଅର୍ଥାତ୍ α କଣିକାର ଶକ୍ତିରୁ ଏକ ଅଂଶ କଣିକା ଦୁଇଟିର ଉତ୍ପାଦନରେ ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇଗଲା, କିନ୍ତୁ ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ଅନେକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଯୁକ୍ତ ପରିମାଣର ଶକ୍ତି ନିଷ୍କାସିତ ହେବାର ଲକ୍ଷ୍ୟ କରାଯାଇଥିଲା । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ ଆଲ୍ୟୁମିନିୟମ୍‌ରେ 90 ସେ. ମି. ପ୍ରୋଟନ ଉତ୍ପାଦିତ ହୋଇଥିଲା, ଏହା 8·6 ଅ. ଇ. ଭୋ. ଶକ୍ତିର ଅନୁରୂପ । ଅବଶିଷ୍ଟ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ଗଠନ ଶକ୍ତିକୁ ବାଦ ଦେଲେ ମଧ୍ୟ, α କଣିକାର ପ୍ରାରମ୍ଭିକ ଶକ୍ତିଠାରୁ ଏଥିରେ ପ୍ରାପ୍ତ 1 ଅ. ଇ. ଭୋ. ଶକ୍ତି ଅଧିକ ମିଳିଥିବାର ବୁଝାଉଛି ।

ଏହି ପରୀକ୍ଷାଗୁଡ଼ିକ ଚାଲିଥିବା ସମୟରେ ପ୍ରଶ୍ନ ଉଠିଲା, ନୂତନ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସଗୁଡ଼ିକ ସ୍ଥାୟୀ କି ନୁହେଁ । ଏଥିରୁ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ପ୍ରଭାବ ଲକ୍ଷ୍ୟ କରିବାପାଇଁ ଶୃଙ୍ଖଳିତ ପରୀକ୍ଷାସବୁ କରାଗଲା; ମାତ୍ର କିଛି ଫଳ ମିଳିଲା ନାହିଁ । ଦୁର୍ଭାଗ୍ୟବଶତଃ ସେମାନେ ଯେଉଁ ପ୍ରଣାଳୀ ବ୍ୟବହାର କରିଥିଲେ, ତାହା β ରଶ୍ମି ପାଇଁ ସଚେତକ ନଥିଲା । ତା ନହୋଇଥିଲେ, ଅନ୍ୟ ବସ୍ତୁମାନଙ୍କରେ ଓ ଆଲ୍ୟୁମିନିୟମ୍‌ରେ ଯେଉଁ ସକ୍ରିୟତା ସୃଷ୍ଟିତ ହୋଇଥିଲା, ତାହା ଏହି ଘଟଣା ଅପେକ୍ଷା ଅଧିକ କାଳ ପୂର୍ବରୁ ଜଣା ପଡ଼ିଥାନ୍ତା ।

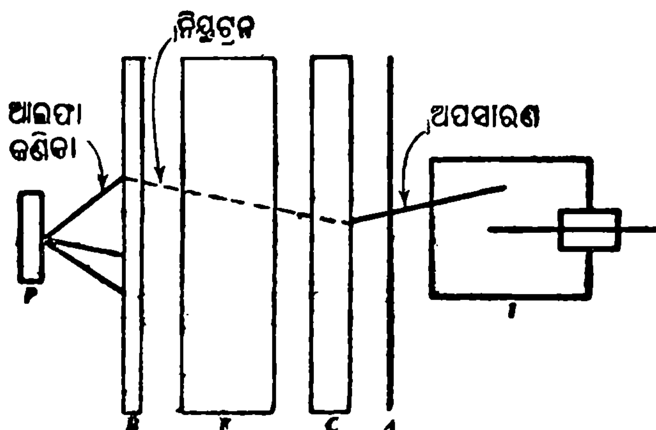
25·2 ନିଉଟ୍ରନ ଆବିଷ୍କାର :

ହାଲୁକା ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥଗୁଡ଼ିକୁ α କଣିକା ଦ୍ୱାରା ଆଘାତ କରି ରୁଥରଫୋର୍ଡ଼ ପ୍ରୋଟନ ଉତ୍ପାଦନ କରିବାର ପ୍ରାୟ 12ବର୍ଷ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ କୃତ୍ରିମ ବିଘଟନର ଏହି ଏକମାତ୍ର

ପ୍ରଣାଳୀ ଜଣାଥିଲା । 1930 ମସିହାବେଳକୁ ଅନ୍ୟ କେତେକ ଗବେଷକ ଏ କ୍ଷେତ୍ରରେ ପ୍ରବେଶ କରିଥିଲେ ଏବଂ ଆଉ ଅନେକ ନୂତନ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ଘଟଣା ଆସି ଆଗକୁ ଆସିଥିଲା । 1927ରେ ବେଥେ ଓ ଫ୍ରାଞ୍ଜ ଦେଖାଇଥିଲେ ଯେ, Po^{210}ର ଦ୍ରୁତ ଶକ୍ତିଶାଳୀ α କଣିକା ମଧ୍ୟ (5·3 ମି. ଇ. ଭୋ.) ରୂପାନ୍ତର ସୃଷ୍ଟି କରିବାକୁ ସମର୍ଥ । 1929ରେ ପୋଜ ଦେଖାଇଲେ ଯେ ଆଲୁମିନିୟମ (ଗୋଟିଏ ଆଇସୋଟୋପ)କୁ α କଣିକାଦ୍ୱାରା ଆଘାତ କରି ଚାରିଗୋଟି ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଶକ୍ତିର ପ୍ରୋଟନ ନିଷ୍କାସନ କରାହେବ । 1930 ମସିହାରେ ପୋଜ୍ ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣ କରିଥିଲେ । ସେ ଦେଖିଲେ ଯେ ପ୍ରୋଟନର ସର୍ବାଧିକ ନିଷ୍କାସନ α କଣିକାର କେତେକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଶକ୍ତି ପାଇଁ ସମ୍ଭବ ହୋଇଛି, ଏହାହିଁ ଅନୁନାଦ ଘଟଣା । 1929 ମସିହାରେ ଗର୍ଣି ଏହାର ସମ୍ଭାବନା ସୂଚାଇଥିଲେ । ଅନୁ: ୨୫·୧୩ରେ ଆମେ ଏ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଅଧିକ ଆଲୋଚନା କରିବା ।

1930 ମସିହାରେ ବଥେ ଓ ବେକର୍ ହାଲୁକା ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କର ରୂପାନ୍ତରରୁ ପ୍ରୋଟନ ବ୍ୟତୀତ ଅନ୍ୟ ନିଉକ୍ଲିୟସ୍ ବିକିରଣର ସନ୍ଧାନ ପାଇଲେ । ଅନେକ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥକୁ α କଣିକାମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଆଘାତ କରି ଗାଇଗର-ଗଣକ ସାହାଯ୍ୟରେ ସେମାନେ ଭେଦକ ବିକିରଣ ପାଇଲେ । ଏହି ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ *Be* ଓ *B* ରହିଥିଲେ । ଏହି ବିକିରଣ ଏତେ ଅଳ୍ପ ପରିମାଣର ହୋଇଥିଲା ଯେ ସେମାନେ କେବଳ ଅତି ସ୍ଥୂଳଭାବରେ ଏହି ବିକିରଣ ଶୋଷଣାଙ୍କ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରି ପାରିଥିଲେ, ତେବେ ସେମାନେ ପ୍ରତିଷ୍ଠା କରିଥିଲେ ଯେ ଏହି ବିକିରଣ ଯେକୌଣସି ଜଣାଶୁଣା γ ରଶ୍ମି ଅପେକ୍ଷା ଅଧିକ ଭେଦକ ।

1932 ମସିହାରେ ଆଇରେନ ଓ ଫ୍ରେଡ୍ରିକ୍, ଜୋଲିଏଟକ୍ୟୁରି ଏହି ବିକିରଣର ଏକ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ଗୁଣ ଆବିଷ୍କାର କରିଥିଲେ । ଏହି ରଶ୍ମି ପାଇଁ ବିଭିନ୍ନ ବସ୍ତୁର ଶୋଷଣାଙ୍କର ତୁଳନା କରିବାକୁ ଚେଷ୍ଟା କରିବାବେଳେ ସେମାନେ ଯେଉଁ ସଂସ୍ଥାନ ବ୍ୟବହାର କରିଥିଲେ, ତାହା ଚିତ୍ର ୨୫·୧ରେ ଦେଖାଯାଇଅଛି । ପୋଲୋନିୟମ ଉତ୍ସ *P*'କୁ α କଣିକାଦ୍ୱାରା ବେରିଲିୟମ *Be*କୁ ଆଘାତ କଲେ ବିକିରଣ ସୃଷ୍ଟି ହୁଏ । ଚିତ୍ରରେ ଦର୍ଶାଯାଇଥିବା ଗୋଟିଏ 1·5 ସେ.ମି. ମୋଟା *Pb* ଫିଲ୍ଟର *F* ପୋଲୋନିୟମ ଉତ୍ସରୁ ବାହାରୁଥିବା କୋମଳ γ ରଶ୍ମିକୁ ଦୂରୀଭୂତ କରାଇ ଦେଉଥିଲା ।



[ଚିତ୍ର ୨୫·୨ ବେରିଲିୟମ୍ ଓ ବୋରନକୁ α କଣିକାଦ୍ୱାରା ଆଘାତ କରି ସେଥିରୁ ଉତ୍ପାଦିତ ବିକିରଣ ଦ୍ୱାରା ବିଭିନ୍ନ ବସ୍ତୁକୁ ଆଘାତ କରି ଜୋଲିଓଟ୍-କ୍ୟୁରି ଦମ୍ପତି ଅପସରଣ ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣ କରିଥିବା ସରଞ୍ଜାମ]

Al, *Cu*, *Ag* ଏବଂ *Pb* ପରି ବସ୍ତୁଗୁଡ଼ିକୁ ଆୟନ ପ୍ରକୋଷ୍ଠର ସମ୍ମୁଖରେ ରଖି ଶୋଷକ ରୂପେ ବ୍ୟବହାର କରି ଚିତ୍ରରେ Cରେ ରଖି, ସେମାନେ ତୀବ୍ରତାରେ ସାମାନ୍ୟ ମାତ୍ର ହ୍ରାସ ଲକ୍ଷ୍ୟ କଲେ; ମାତ୍ର ପାରାଫିନ, ଜଳ ଓ ସେଲୋଫେନ ବ୍ୟବହାର କରି ସେମାନେ ପ୍ରକୃତରେ ଆୟନ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ ଗଣନାରେ ଆଧିକ୍ୟ ଦେଖି ପାରିଲେ । ପାରାଫିନରେ ସର୍ବାଧିକ ପ୍ରଭାବ ପରିଲକ୍ଷିତ ହୋଇଥିଲା, ଏଥିରେ ବୃଦ୍ଧି ଦୁଇଗୁଣ ହୋଇଯାଇଥିଲା । ପାରାଫିନରୁ ବିକିରଣ ଦ୍ୱାରା ବିସ୍ଥାପିତ ପ୍ରୋଟନ ଫଳରେ ଏପରି ଘଟୁଛି ବୋଲି ଅନୁମାନ କରି, ଜୋଲିଓଟ-କ୍ୟୁରି ଦମ୍ପତି ପାରାଫିନ ଓ ଆୟନ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ ମଧ୍ୟରେ (ଚିତ୍ରରେ Aରେ) ଆଲୁମିନିୟମ ଶୋଷକ ରଖିଲେ । ସେମାନେ ଦେଖିଲେ ଯେ, ମାତ୍ର 0·2 ମି. ମି. ଆଲୁମିନିୟମ ଏହି ପ୍ରଭାବକୁ ନଷ୍ଟ କରିଦେବାକୁ ଯଥେଷ୍ଟ । ତେଣୁ ଆୟନ ପ୍ରକୋଷ୍ଠର ସ୍ରୋତ ବୃଦ୍ଧି ପ୍ରୋଟନମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ସଂଘଟିତ ହୋଇଛି ବୋଲି କୁହାଯାଇ ପାରିବ ନାହିଁ; ଏବଂ ଚୁମ୍ବକୀୟ କ୍ଷେତ୍ରରେ ବିକ୍ଷେପଣ ପରୀକ୍ଷା ଦ୍ୱାରା ଜଣାପଡ଼ିଲା ଯେ ଧୀର ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପରି ସହଜରେ ବିକ୍ଷେପିତ ହେଉଥିବା କୌଣସି କଣିକା ମଧ୍ୟ ଏଥିପାଇଁ ଦାୟୀ ନୁହେଁ । ଏହି ପ୍ରମାଣରୁ ଏବଂ ଏହି ପ୍ରଭାବ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ଥିବା ବସ୍ତୁମାନଙ୍କ

ସହିତ ସଂପୃକ୍ତ ହେବାରୁ, ଏହି କଣିକାଗୁଡ଼ିକୁ ପ୍ରୋଟନ ବୋଲି ସୂଚାଇବା ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ମନେ ହେଲା । ଆଲୁମିନିୟମ୍‌ରେ ପ୍ରୋଟନ ପାଇଁ ଗତିପଥର ଦୈର୍ଘ୍ୟ ଓ ଶକ୍ତିର ସମ୍ବନ୍ଧ ଜଣାଥିବାରୁ ସେମାନେ ସିଦ୍ଧାନ୍ତ କଲେ ଯେ ଏହି ଶକ୍ତି ପ୍ରାୟ 4·5 *MeV* ଏବଂ ଏଗୁଡ଼ିକ ଅଧିକ ଶକ୍ତିଶାଳୀ γ ରଶ୍ମିର ବିକିରଣଦ୍ୱାରା ଅପସରଣରୁ ଜାତ ହୋଇଥିଲେ ।

γ ରଶ୍ମିରୁ ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନ ସମୀକରଣ (୭·୧୭a) ଅନୁସାରେ କମ୍ପଟନ୍ ପ୍ରଣାଳୀରେ ଲାଭ କରୁଥିବା ସର୍ବାଧିକ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ହେଲା,

$$E_{max}=h\nu\frac{2\in}{1+2\in}\quad \in=\frac{h\nu}{Mc^2} \qquad (୨୫·୨)$$

ଏଠାରେ M ପ୍ରୋଟନର ବସ୍ତୁତ୍ୱ । ପ୍ରୋଟନ ଶକ୍ତିପାଇଁ ଏହି 4·5 *MeV* ଶକ୍ତି ବ୍ୟବହାର କରି ସେମାନେ γ ରଶ୍ମିର ଶକ୍ତି ପ୍ରାୟ 50 *MeV* ବୋଲି ପାଇଲେ । ବୋରନକୁ α କଣିକା ଦ୍ୱାରା ଆଘାତ କରି ଏହିପରି ବିକିରଣକୁ ପର୍ଯ୍ୟାଲୋଚନା କଲେ γ ରଶ୍ମିର ଶକ୍ତି ଏହି ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ 35 *MeV* ବୋଲି ମିଳିଲା ।

1932 ମସିହାରେ ତାଙ୍କର ବିଖ୍ୟାତ ପ୍ରବନ୍ଧରେ ଚାଡ଼ୱିକ୍ ଦେଖାଇଲେ ଯେ ଏହି ସମୀକ୍ଷାରେ ଦୁଇଟି ଗୁରୁତର ତ୍ରୁଟି ରହି ଯାଇଥିଲା । ପ୍ରଥମତଃ; କମ୍ପଟନ ପ୍ରଣାଳୀରେ ଯେତେଟି ପ୍ରୋଟନ ନିଷ୍କାସିତ ହେବ, ତାହା କ୍ଲେଇନ-ନିସିନା ସୂତ୍ରରେ ହିସାବ କରି ହେବ ଏବଂ ଏହି ପରିମାଣ ଲବ୍ଧ ପ୍ରଭାବ ବୁଝାଇବାପାଇଁ ଅବଶ୍ୟକ ପରିମାଣରୁ ହଜାର ହଜାର ଗୁଣ କମ୍ । ଦ୍ୱିତୀୟତଃ, ସେ ଦେଖାଇଲେ ଯେ, ବସ୍ତୁତ୍ୱରେ ଘଟୁଥିବା ଭ୍ରମକୁ ଯେତେ ପାର ସେତେ ଗ୍ରହଣ କରଗଲେ ମଧ୍ୟ, ଜଣାଥିବା କୌଣସି ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ଏତେ ଶକ୍ତି ସୃଷ୍ଟି ହୋଇ ପାରେ ନାହିଁ । ସାମ୍ଭାବ୍ୟ ପ୍ରକ୍ରିୟାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସବୁଠାରୁ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ହେଲା Be^9 ଦ୍ୱାରା α କଣିକା ଅଧୃତ ହୋଇ C^{13} ଗଠିତ ହେବା । Be^9+He^4 ଓ C^{13} ମଧ୍ୟରେ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଶକ୍ତିରେ ଥିବା ତାରତମ୍ୟ ସେତେବେଳେ γ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଆକାରରେ ବିକିରିତ ହେବ । C^{13} ଓ α କଣିକାର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଜଣାଥିଲା । Be^9 ସ୍ଥାୟୀ † ହୋଇଥିବାରୁ

---

† ଯଦି B^9ର ବସ୍ତୁତ୍ୱ $_2He^4+n^1$ର ବସ୍ତୁତ୍ୱଠାରୁ ଅଧିକ ହୁଏ, ତେବେ ତାହା ଆପେ ଆପେ ବିଘଟିତ ହୋଇଯିବ । ଚାଡ଼ୱିକ ତାଙ୍କର ପ୍ରଥମ ହିସାବରେ ଅନୁମାନ କଲେ, $Be^9 < {_2He^4}+P+e$ ।

ଏହାର ବସ୍ତୁତ୍ୱର ସର୍ବାଧିକ ଲିମିଟ୍ ମୂଲ୍ୟ ନିଆଯାଇ ପାରିବ । $Be^9 + He^4 - C^{13}$ର ବସ୍ତୁତ୍ୱର ତାରତମ୍ୟ ସହିତ ୯ କଣିକାର ଗତିଜ ଶକ୍ତିକୁ ଯୋଗ କଲେ, γ ରଶ୍ମିର ଶକ୍ତି ପାଇଁ ଉର୍ଦ୍ଧ୍ୱ ଲିମିଟ୍ ମିଳିବ । ଏହି ମୂଲ୍ୟ କେବଳ 14 ଅ. ଇ. ସେ. ହେବ । ରିପୋର୍ଟ ମିଳିଥିବା 50 MeVଠାରୁ ଯଥେଷ୍ଟ କମ୍ ।

ସ୍ୱେଡୱିକ୍. କ୍ୟୁରି ଏବଂ ଯୋଲିଓଙ୍କର ପାର୍ଟିକୁ ପ୍ରମାର କରି ହାଇଡ୍ରୋଜେନରୁ ଅଗ୍ରସର ଅପସରିତ ପ୍ରୋଟନର ଗତିପଥର ଦୈର୍ଘ୍ୟ ପୁନଃନିରୂପଣ କଲେ । ସେ ଏହି ଦୈର୍ଘ୍ୟ 40 ସେ. ମି. ବୋଲି ପାଇଲେ; ଏହା $3{\cdot}3 \times 10^7$ ମି/ସେ. ଗତିବେଗର ଓ 5·7MeV ଶକ୍ତିର ଅନୁରୂପ । ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରି ଅନେକ ହାଲୁକା ପଦାର୍ଥରୁ ଅପସରଣ ମଧ୍ୟ ସେ ଲକ୍ଷ୍ୟ କଲେ ଓ ଅପସରଣର ଶକ୍ତିର ସ୍ଥୂଳ ହିସାବ ମଧ୍ୟ କଲେ । ସମୀକରଣ (୨୫ ୨)ରୁ ଯୋଗିଁ ଏ γରଶ୍ମିରୁ ସର୍ବାଧିକ ଅନ୍ତରିତ ଶକ୍ତି ପରମାଣ ଆପାତତଃ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ୍ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ପ୍ରତି ମୋଟାମୋଟି ପ୍ରତିଲୋମ ଅନୁପାତୀ ହେବ [ମନେ ରଖ, $2\epsilon \ll 1$, ତେଣୁ $E_{max} = 2(h\nu)^2/mc^2$]; ଏବଂ ସେହି କାରଣରୁ ଅପସରିତ ନାଇଟ୍ରୋଜେନର ଶକ୍ତି 5·7/14 MeV ହେବା ଆଶା କରାଯାଏ । ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷିତ ଶକ୍ତି ଏହି ଶକ୍ତି ପରିମାଣର ତିନିଗୁଣରୁ ଅଧିକ ।

ତେଣୁ ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷିତ ପ୍ରଭାବ ଅଧିକ ଶକ୍ତିଶାଳୀ γ ରଶ୍ମି ଲାଗି ଘଟିଛି ବୋଲି ଧରିବା ଠିକ୍ ହେବ ନାହିଁ । ଅନ୍ୟ ପକ୍ଷରେ, ଯଦି ପ୍ରୋଟନ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସହିତ ସମାନ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଥିବା କୌଣସି ଚାର୍ଜହୀନ କଣିକା ଦ୍ୱାରା ଏହି ବିକିରଣ ଗଠିତ ବୋଲି ଧରାଯାଏ, ସମସ୍ତ ଅସୁବିଧା ଦୂର ହୋଇଯିବ । ଏହିପରି କଣିକାଗୁଡ଼ିକର ପାରମାଣିକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍-ମାନଙ୍କ ସହିତ କୌଣସି ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଘଟିବ ନାହିଁ, ତେଣୁ ଏଗୁଡ଼ିକ ବସ୍ତୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସହଜରେ ଗଳିଯାଇପାରିବେ, କେବଳ ସାମାନ୍ୟ କେତେକ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ଟକ୍କରରେ ସେମାନଙ୍କର ଶକ୍ତି କ୍ଷୟ ଘଟିବ । ଏହି ପ୍ରକାର ଆଘାତର ସେମାନେ ସେମାନଙ୍କର ଶକ୍ତିର ଅଧିକ ଅଂଶ ହରାଇବେ, ତେଣୁ ପ୍ରାରମ୍ଭିକ ଶକ୍ତି ଅଳ୍ପ ଥିଲେ ମଧ୍ୟ ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷିତ ଅପସରଣ ବୁଝାଯାଇ ପାରିବ । ପ୍ରାୟ 12ବର୍ଷ ପୂର୍ବେ ରୁଥରଫୋର୍ଡ଼ ଏପ୍ରକାରର କଣିକା, ନ୍ୟୁଟ୍ରନର ଅସ୍ତିତ୍ୱ ଥିବାର ପରିକଳ୍ପନା କରିଥିଲେ; ସ୍ୱେଡୱିକଙ୍କର

ଅବିଷ୍କାର ପୂର୍ବରୁ ଏହି କଣିକା ଲବ୍ଧ କରିବାପାଇଁ କାଭେଣ୍ଡିସ୍ ଲାବରେଟରୀରେ ବହୁବାର ଚେଷ୍ଟା କରାଯାଇଥିଲା ।

ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ଓ ନାଇଟ୍ରୋଜେନରୁ ଘଟୁଥିବା ଅପସରଣ ଶକ୍ତିର ତୁଳନାରୁ ନିଉଟ୍ରନର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଏକ ପାରମାଣିକ ନିର୍ଣ୍ଣୟ ସମ୍ଭବ । ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ଅଘାତ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ସାଧାରଣ ନିୟମରୁ; ଗୋଟିଏ କଣିକାର ଗତିବେଗ V_o ହେଲେ ଓ ଏହାର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ପ୍ରୋଟନ ବସ୍ତୁତ୍ୱର M_o ଗୁଣ ହେଲେ, ଏହା ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନକୁ ଦେଇ ପାରୁଥିବା ସର୍ବାଧିକ ଗତିବେଗ ହେବ,

$$V_H = V_o \frac{2M_o}{M_o+1} \qquad (୨୫·୩)$$

ଗୋଟିଏ ଅପସରିତ ନାଇଟ୍ରୋଜେନର ସର୍ବାଧିକ ଗତିବେଗ

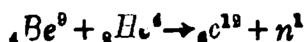
$$V_N = V_o \frac{2M_o}{M_o+14} \qquad (୨୫·୩a)$$

V_oକୁ ବହିଷ୍କାର କରିବାପାଇଁ ଏ ଦୁଇ ସମ୍ବନ୍ଧକୁ ଭାଗ କଲେ,

$$\frac{V_H}{V_N} = \frac{M_o+14}{M_o+1} \qquad (୨୫·୪)$$

V_H ପାଇଁ ଚାଡୱିକ୍ ରୋଜର ମୂଲ୍ୟ $3·3 \times 10^7$ ସି./ସେ. ବ୍ୟବହାର କଲେ; ମେଘ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ ପରୀକ୍ଷାରୁ $V_o = 4·7 \times 10^6$ ସି. ସେ. ବୋଲି ସେ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରିଥିଲେ । ଏହି ଦୁଇ ମୂଲ୍ୟକୁ ସମୀକରଣ (୨୫·୪)ରେ ବସାଇ ଚାଡୱିକ୍ ପାଇଲେ $M_o = 1·15$, ଏଥିରେ ପ୍ରାୟ 10% ଭ୍ରମ ଥାଇପାରେ ବୋଲି ସେ ହିସାବ କରିଥିଲେ । ନିଉଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକର ଗତିବେଗ $3·2 \times 10^9$ ସି ସେ ଥିଲା, ତେଣୁ ଏହାର ଗତିଜ ଶକ୍ତି ପ୍ରାୟ 6 Mev ।

ବେରିଲିୟମକୁ α କଣିକାମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଆଘାତ କଲେ ଘଟୁଥିବା ପ୍ରକ୍ରିୟାକୁ ପ୍ରକାଶ କରିବାପାଇଁ ଚାଡୱିକ ପ୍ରସ୍ତାବ ଦେଲେ



$$_4Be^9 + _2He^4 \rightarrow _6C^{12} + n^1$$

ଏଠାରେ n^1 ନିଉଟ୍ରନ ବୁଝାଉଛି । Be^9 ପାଇଁ ପୂର୍ବ ସେହି ଊର୍ଦ୍ଧ୍ୱ ଲିମିଟ ନେଇ ଜଣା ଥିବା ବସ୍ତୁମାନଙ୍କରୁ ସେ ପ୍ରଦର୍ଶନ କଲେ ଯେ ଯେତେବେଳେ ପୋଲୋନିୟମ α କଣିକା

ସବୁ ନଆଗଲେ (5·3 MeV) ସେତେବେଳେ ନ୍ୟୁଟ୍ରନ ପାଇଁ ସର୍ବାଧିକ ପରମାଣୁ ମିଳିଥିଲା 8 MeV ବୋରନ ପାଇଁ ସେ ଏହି ପ୍ରକ୍ରିୟା ଅନୁମାନ କଲେ,



$$_5B^{11} + {}_2He^4 \rightarrow N^{14} + n^1$$

ଏଠାରେ ବସ୍ତୁତ୍ୱଗୁଡ଼ିକ ଜଣାଅଛି ଏବଂ ଶକ୍ତିର ସମତାରୁ ସେ ନ୍ୟୁଟ୍ରନର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ପରିମାଣ 1·0067 ଏକକ ବୋଲି ସ୍ଥିର କଲେ; ଏଥିରେ ସାମ୍ଭାବ୍ୟ ଭ୍ରମ ଥିଲା 0·1%।

ନିଉକ୍ଲିୟସର ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତି ଓ ନିଉକ୍ଲିୟସର ବଳ

ନ୍ୟୁଟ୍ରନର ଆବିଷ୍କାର ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ଗଠନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଆମର ଧାରଣା ସୁଦ୍ଧା ବଦଳାଇ ଦେଲା। ସେପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ମନେ କରାଯାଉଥିଲା ଯେ, ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରୋଟନ, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଓ ସମ୍ଭବତଃ α କଣିକାସବୁ ରହିଅଛି। ଏହି ଅନୁମାନ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରି ଗଢ଼ି ଉଠିଥିବା ନିଉକ୍ଲିୟସର ଗଠନ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ତତ୍ତ୍ୱ ବହୁକୋଣରୁ ଅସୁବିଧାର ସମ୍ମୁଖୀନ ହୋଇଥିଲା; ବିଶେଷ ଭାବରେ କହିଲେ, ନିଉକ୍ଲିୟସ ମଧ୍ୟରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ସ୍ଥିତି ସବୁ ଗୋଳମାଳ କରି ଦେଉଥିଲା। ନ୍ୟୁଟ୍ରନକୁ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଗଠନରେ ଏକ ଉପାଦାନ ଭାବରେ ଗ୍ରହଣ କରିବାଦ୍ୱାରା ଏହି ଅସୁବିଧାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ କେତେକ ଦୂର ହୋଇଗଲା ଏବଂ ଏହା ନିଉକ୍ଲିୟସର ଗଠନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଯଥେଷ୍ଟ ସନ୍ତୋଷଜନକ ତତ୍ତ୍ୱ ଦେଇ ପାରିଥିଲା। ଏହା ସ୍ୱୀକାର୍ଯ୍ୟ ଯେ, ଏହି ତତ୍ତ୍ୱ ଏବେ ମଧ୍ୟ ନାନା ଅସୁବିଧାର ସମ୍ମୁଖୀନ, ତେବେ ଏ ଅସୁବିଧାଗୁଡ଼ିକ ଭିନ୍ନ ଧରଣର।

25·3 ନିଉକ୍ଲିୟସର ଗୁଣସବୁ :

ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ଗଠନ ପ୍ରଣାଳୀ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ତାତ୍ତ୍ୱିକ ଆଲୋଚନାରେ ପ୍ରବୃତ୍ତ ହେବା ପୂର୍ବରୁ 1932 ମସିହାବେଳକୁ ଜଣାଇବା କେତେକ ପ୍ରଧାନ ପ୍ରଧାନ ଗୁଣରେ ଆଉ ଥରେ ଆଖି ପକେଇଦେବା ବୋଧହୁଏ ଉଚିତ ହେବ। ଏହି ଆଲୋଚନାବେଳେ ବିଗତ 35 ବର୍ଷରେ ହୋଇଥିବା ବହୁତ କାର୍ଯ୍ୟର ଆମେ ସୁଯୋଗ ପାଇ ପାରିବା; ମାତ୍ର ଏହି ପ୍ରାରମ୍ଭିକ

ଆଲୋଚନାରେ ଆମେ ବ୍ୟବହାର କରୁଥିବା ଅଧିକାଂଶ ଧାରଣା 1932 ମସିହାବେଳକୁ ଆମର ହସ୍ତଗତ ହୋଇ ସାରିଥିଲା ।

(କ) ଚାର୍ଜ: ଆମେ ନିଉକ୍ଲିୟସର ଚାର୍ଜଠାରୁ ଆରମ୍ଭ କରିବା । ଯେହେତୁ ପରମାଣୁ ସାଧାରଣ ଅବସ୍ଥାରେ ସୁଷମ, ନିଉକ୍ଲିୟସର ଚାର୍ଜ ପାରମାଣବିକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ସହିତ ବିଦ୍ୟୁତ ପରିମାଣରେ ସମାନ ଓ ଚିହ୍ନରେ ବିପରୀତ । ଯେହେତୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ-ମାନଙ୍କର ଏକା ଚାର୍ଜ e, ନିଉକ୍ଲିୟସର ଚାର୍ଜ Ze, ଏଠାରେ Z ଗୋଟିଏ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା । Zର ମୂଲ୍ୟ ଏକସରେ ବିଚ୍ଛୁରଣ ପରୀକ୍ଷାମାନଙ୍କରୁ, α କଣିକାମାନଙ୍କର ନିଉକ୍ଲିୟସର ବିଚ୍ଛୁରଣରୁ ଏବଂ ଏକ୍ସରେ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରୁ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଇଅଛି ।

(ଖ) ବସ୍ତୁତ୍ୱ: $C^{12}=12$ ବୋଲି ନେଇ ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରୋମିଟରରେ (ଅନୁ: ୧୦·୪) ମାପଦ୍ୱାରା e/m ସ୍ଥିର କରି ଏବଂ ନିଉକ୍ଲିୟସର ପ୍ରକ୍ରିୟାମାନଙ୍କରେ ଶକ୍ତିରୁ (ଅନୁ ୨୫·୧୦) ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଇଅଛି । ଏଗୁଡ଼ିକ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା-ମାନଙ୍କର ଅତି ନିକଟତର ହେବା ଜଣାଯାଇଛି । ଲଘୁ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଂଖ୍ୟା ପ୍ରାୟ 2Z ଏବଂ ଗୁରୁ ମୌଳିକପଦାର୍ଥମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଏହା ପ୍ରାୟ ୨·୫Zକୁ ବୃଦ୍ଧି ପାଇଥାଏ ।

(ଗ) ଆକାର: ପରମାଣୁର ଆକାର ପରି ନିଉକ୍ଲିୟସର 'ଆକାର' ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଭାବରେ ପ୍ରକାଶିତ ରାଶି ନୁହେଁ; କାରଣ ଏହାର ବୈଶିଷ୍ଟ୍ୟ ବସ୍ତୁରକୁ ନଅଣାଯାଉଛି, ତାହା ଉପରେ ଏହା ନିର୍ଭର କରେ । ଯଦି ଦୁଇଟି ପରମାଣୁ ପରସ୍ପରର ନିକଟତର ହେଉଥାନ୍ତି, ସେମାନେ ଅଧିକ ଦୂରତାରେ ଥିବାବେଳେ ସାମାନ୍ୟ ଆକର୍ଷଣୀୟ ବଳ ପ୍ରକାଶ କରି ପାରନ୍ତି; ମାତ୍ର ପରସ୍ପରର ନିକଟବର୍ତ୍ତୀ ହେଲେ ଏହି ବଳ ପ୍ରବଳ ବିକର୍ଷଣରେ ପରିଣତ ହୋଇଯିବ । ଯେଉଁ ଦୂରତାରେ ଏହା ଘଟିବ, ତାହା ଦୁଇ ପରମାଣୁର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ଦ୍ୱୟର ଯୋଗଫଳ ବୋଲି ନିଆଯାଇପାରେ । ଅନ୍ୟ ପକ୍ଷରେ, ପରମାଣୁ ମଧ୍ୟରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ବଣ୍ଟନ ଦ୍ୱାରା 'ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ'ର ସଂଜ୍ଞା ଦିଆଯାଇ ପାରେ । ଏହି ଦୁଇ ପ୍ରଣାଳୀ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ଫଳ ଦେଇପାରେ, ଏ ଦୁଇଟିରେ କେତେକ ପରିମାଣରେ ଅନିଶ୍ଚିତତା ରହିଯାଇଛି, କାରଣ ଦୂରତା ଅନୁସାରେ ଧୀରେ ଧୀରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହେଉଥିବା ଫଳନ ଉଭୟ ପ୍ରଣାଳୀରେ ରହିଅଛି । ନିଉକ୍ଲିୟସ ପାଇଁ ମଧ୍ୟ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧର ବିଭିନ୍ନ ସଂଜ୍ଞା ବ୍ୟବହୃତ

ହୋଇଥାଏ; ମାତ୍ର ଏ ସମସ୍ତ ମୋଟାମୋଟି ମିଳିଯାନ୍ତି; ପ୍ରତ୍ୟେକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ପରିମାପ ଏକ ଲକ୍ଷଣ ସୀମାର ସୂଚନା ଦିଏ ।

ନଉକ୍ଲିୟସର ଆକାର ମାପ କରିବାର ଏକ ଦରକାରୀ ପ୍ରଣାଳୀ (ଅନୁ: ୮·୪ରେ ବର୍ଣ୍ଣିତ ପରୀକ୍ଷା ପରି) α ବିକ୍ଷୁରଣ ପରୀକ୍ଷାମାନଙ୍କରେ ମିଳିଥାଏ । ଏହି ପରୀକ୍ଷାମାନଙ୍କରେ ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷିତ ହେଉଥିବା ବସ୍ତୁର ଗୋଟିଏ ପାତଳ ଫଳକ ଉପରେ α କଣିକାମାନଙ୍କର ଏକ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ପକାଯାଏ ଏବଂ ବିଭିନ୍ନ କୋଣରେ ବିକ୍ଷୁରିତ ହେଉଥିବା α କଣିକାମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଏ । α କଣିକାମାନଙ୍କର ଶକ୍ତି ବେଶୀ ନହୋଇଥିବାବେଳେ, ନଉକ୍ଲିୟସ ଓ α କଣିକାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଏକ ପ୍ରତିଲୋମ ବର୍ଗ ଅନୁପାତୀ ବଳ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହେଉଛି ବୋଲି ଅନୁମାନ କଲେ ଠିକ୍ ହେବ । α କଣିକାମାନଙ୍କର ବଳ ବୃଦ୍ଧି ହେବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ରୁଥରଫୋର୍ଡଙ୍କର ବିକ୍ଷୁରଣ ନିୟମରୁ ବ୍ୟତିକ୍ରମ ଦେଖାଯାଏ, ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଭାବରେ କହିଲେ, ବଡ଼ ବଡ଼ କୋଣରେ ଏହି ବ୍ୟତିକ୍ରମ ହୋଇଥାଏ । ଅଧିକ ଶକ୍ତି ସମ୍ପନ୍ନରେ α କଣିକାମାନଙ୍କର ଗତିପଥ ନଉକ୍ଲିୟସର ନିକଟତର ହୋଇଥାଏ ବୋଲି ଏପରି ବ୍ୟତିକ୍ରମ ଦେଖାଯାଏ; ତେଣୁ ସ୍ୱଳ୍ପ ଦୂରତାରେ ପ୍ରତିଲୋମ ବର୍ଗ ଅନୁପାତୀ ନିୟମ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହୁଏନାହିଁ ବୋଲି ଧରି ନିଆଯାଇପାରେ । ବିକ୍ଷୁରଣ ପରୀକ୍ଷାମାନଙ୍କର ବିଶ୍ଳେଷଣରୁ ଏହି ସିଦ୍ଧାନ୍ତ ମିଳିଛି ଯେ, ଯେଉଁ ଦୂରତାରେ ବଳ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ ନିୟମ ବଦଳି ଯାଉଛି, ତାହା ହାଲୁକା ନଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କରେ 10^{-15} ମି.ର ଦେଢ଼ଗୁଣଠାରୁ ଆରମ୍ଭ କରି ଓଜନିଆ ନଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କରେ 10^{-14} ମି.ର ଦେଢ଼ଗୁଣ ଯାଏ ହେଉଛି ।

ନଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଅଧିକ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ନିଉଟ୍ରନର ବିକ୍ଷୁରଣ (ଅନୁ. ୨୫·୧୫) ନଉକ୍ଲିୟସ ସୃଷ୍ଟି କରୁଥିବା ବଳ କ୍ଷେତ୍ରର ବିସ୍ତୃତି ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଏକ ପରିମାପ ଦେଇଥାଏ । ଯେହେତୁ ନିଉଟ୍ରନ ସବୁ ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରଭାବିତ ହୁଏନାହିଁ, ସେମାନଙ୍କର ବିକ୍ଷୁରଣ କୌଣସି ଅବୈଦ୍ୟୁତିକ ବଳଦ୍ୱାରା [illegible] ହେବ । ପରୀକ୍ଷାରୁ ଏହି ବଳ ଅତି ଅଳ୍ପ ଦୂରତାରେ ହଠାତ୍ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହେ[illegible] ଷଣ ପ୍ରକାରର ହେବାପରି ଜଣାଯାଉଛି । ଯେଉଁ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧରୁ ଏହି ବଳ ପ୍ରବଳ ଭାବରେ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହେଉଛି, ତାହା ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଂଖ୍ୟାର ତୃତୀୟ ମୂଳର ପ୍ରାୟ ଅନୁପାତୀ ଏବଂ ଭଲ ଭାବରେ

$$R = R_0 A^{\frac{1}{3}} R_0 = 1{\cdot}1 \text{ରୁ } 1{\cdot}5 \times 10^{-15} \text{ ମି.} \qquad (୨୫{\cdot}୫)$$

ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହେବା ପରି ମନେ ହେଉଛି ।

ପର ଅନୁଚ୍ଛେଦମାନଙ୍କରେ ଅନ୍ୟ ପ୍ରଣାଳୀରେ ନାଇକ୍ଲିୟସର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧକୁ ପ୍ରକାଶ କରି ବିଭିନ୍ନ ଉପାୟରେ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରିବାର ପରୀକ୍ଷାଗୁଡ଼ିକ ଆଲୋଚନା କରିବା ଏବଂ ଏ ସମସ୍ତ ଫଳ ସମୀକରଣ (୨୫·୫) ସହିତ ମୋଟାମୋଟି ମିଳିଯାଉଥିବାର ଲକ୍ଷ୍ୟ କରିବା ।

(ଘ) ଘୂର୍ଣ୍ଣନ : ନାଇକ୍ଲିୟସର ଘୂର୍ଣ୍ଣନକୁ ଏହାର ମୋଟ କୌଣିକ ସଂବେଗ କହିଲେ ଭଲ ବୁଝାଯିବ । ଏହା ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମର ଅତି ସୂକ୍ଷ୍ମ ଗଠନର ବିବରଣରୁ, ସମାଙ୍ଗୀ ନାଇକ୍ଲିୟସ ଅଣୁମାନଙ୍କର ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମରୁ, ବା ପରମାଣୁ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ପ୍ରଣାଳୀରୁ ସ୍ଥିର କରାଯାଇ ପାରିବ । *h* ଏକକରେ I ସଂଖ୍ୟାଦ୍ୱାରା † ଏହି କୌଣିକ ସଂବେଗର ପରିମାଣକୁ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଏ । କୌଣସି ଅକ୍ଷରେ କୌଣିକ ସଂବେଗ ଭେକ୍ଟରର ସ୍ଥାନରେ ସର୍ବାଧିକ ସାମ୍ଭାବ୍ୟ ଲମ୍ବଛାୟାର ପରିମାଣକୁ ଏହି I ବୁଝାଯାଏ । ଯେଉଁ ନାଇକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର A ଯୁଗ୍ମ ସଂଖ୍ୟା, ସେ ନାଇକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର I ଶୂନ୍ୟ ବା ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ବୋଲି ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜଣାଗଲା; ଯଦି Z ଓ A ଉଭୟ ଯୁଗ୍ମ ହୁଅନ୍ତି, ତେବେ ମୂଳ ଅବସ୍ଥାର I ସର୍ବଦା ଶୂନ୍ୟ ହୋଇଥାଏ । ଯେଉଁ ନାଇକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର A ଅଯୁଗ୍ମ ସେମାନଙ୍କ ପାଇଁ I ଅର୍ଦ୍ଧପୂର୍ଣ୍ଣ ସଂଖ୍ୟା । ପ୍ରୋଟନ, ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଓ ନିଉଟ୍ରନମାନଙ୍କ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ $I = \frac{1}{2}$ ।

(ଙ) ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ : ନାଇକ୍ଲିୟସର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସହିତ ଏକ ଚୁମ୍ବକୀୟ ଦ୍ୱିମେରୁ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ସର୍ବଦା ସଂଶ୍ଳିଷ୍ଟ; ନାଇକ୍ଲିୟସ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣମାନଙ୍କ ପରିମାଣ ସ୍ପେକ୍‌ଟ୍ରମର ଅତି ସୂକ୍ଷ୍ମ ଗଠନରେ ରେଖାମାନଙ୍କର ଅବସ୍ଥାନମାନଙ୍କରୁ ବା ପରମାଣବିକ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ପରୀକ୍ଷାମାନଙ୍କରୁ ସ୍ଥିର କରାଯାଇଛି । M ପ୍ରୋଟନର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ହେଲେ ଉକ୍ତ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ $e\hbar/2m$ ନାଇକ୍ଲିୟସର ମାଗ୍ନେଟନ କୋଟୀର ହେବ ବୋଲି ଉକ୍ତ ପରୀକ୍ଷାମାନଙ୍କରୁ ଜଣାଯାଉଛି । ତେଣୁ ଏହା ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନର ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣର ଏକହଜାର ଭାଗରୁ ଭାଗେ ହେବ । ଯେଉଁ ନାଇକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଶୂନ୍ୟ, ସେମାନଙ୍କର ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ନଥାଏ ।

---

† ବେଳେବେଳେ J ସଙ୍କେତ ଦ୍ୱାରା ଏହା ପ୍ରକାଶିତ ହୁଏ ।

(ଚ) ପରସଂଖ୍ୟାନ : କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଯାନ୍ତ୍ରିକମଣ୍ଡଳଗୁଡ଼ିକୁ ସେଥିରେ ଥିବା କଣିକାମାନଙ୍କର ପାଳନୀୟ ପରସଂଖ୍ୟାନ ପ୍ରକାର ଭେଦରେ (ଅନୁ: ୨୦·୩ ଓ ୨୦·୪) ଦୁଇ ଶ୍ରେଣୀରେ ବିଭକ୍ତ କରାଯାଇପାରେ । ଯଦି ଦୁଇଟି ସଦୃଶ କଣିକାକୁ ପ୍ରକାଶ କରୁଥିବା ତରଙ୍ଗ ଫଳନ (ଯେପରି କି ଏକା ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଥିବା ଆଉ ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ) କଣିକା ଦୁଇଟିର ସ୍ଥାନାଙ୍କ ଗୁଡ଼ିକୁ ପରସ୍ପର ସହିତ ବଦଳ କରିଦେଲେ ଚିହ୍ନ ବଦଳାଇ ଦିଏ, ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ଏହି ବଦଳ ପାଇଁ ଅସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ଏବଂ କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ଫର୍ମି-ଡିରାକ ପରସଂଖ୍ୟାନ ନିୟମ ପାଳନ କରନ୍ତି । ଅନ୍ୟ ଶ୍ରେଣୀର କଣିକାମାନଙ୍କ ପାଇଁ, ତରଙ୍ଗଫଳନ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ-ଚିହ୍ନ ବଦଳାଏ ନାହିଁ ଏବଂ କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ବୋସ ଆଇନଷ୍ଟାଇନ ପରସଂଖ୍ୟାନ ନିୟମ ମାନନ୍ତି । F – D କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ପାଉଲି ଅପବର୍ଜନ ନିୟମ ମାନନ୍ତି, କିନ୍ତୁ B E କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ତାହା ମାନନ୍ତି ନାହିଁ । ପରୀକ୍ଷାଦ୍ୱାରା ଦେଖାଯାଇଛି ଯେ ଅର୍ଦ୍ଧପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ବିଶିଷ୍ଟ ସମସ୍ତ କଣିକା ଯଥା—ପ୍ରୋଟନ, ନିଉଟ୍ରନ ଓ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ, F – D ପରସଂଖ୍ୟାନ ମାନନ୍ତି ଏବଂ ଯେଉଁଗୁଡ଼ିକ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ବା ଶୂନ୍ୟ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ବିଶିଷ୍ଟ, ସେମାନେ B – E ପରସଂଖ୍ୟାନ ମାନନ୍ତି । ଅଯୁଗ୍ମ ସଂଖ୍ୟା A ବିଶିଷ୍ଟ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସଗୁଡ଼ିକ F – D ପରସଂଖ୍ୟାନ; କିନ୍ତୁ ଯୁଗ୍ମ A ବିଶିଷ୍ଟ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସଗୁଡ଼ିକ B – E ପରସଂଖ୍ୟାନ ମାନନ୍ତି ।

(ଛ) ପାରିଟି : ଗୋଟିଏ ମଣ୍ଡଳର ପାରିଟି, ସ୍ଥାନାଙ୍କଗୁଡ଼ିକୁ ମୂଳବିନ୍ଦୁଠାରେ ଓଲଟାଇଦେଲେ ଏହି ମଣ୍ଡଳର ତରଙ୍ଗ ଫଳନ କଣ ହେବ ବୁଝାଇଥାଏ । ଅର୍ଥାତ୍ ଯେତେବେଳେ xକୁ $-x$ ଦ୍ୱାରା, yକୁ $-y$ ଦ୍ୱାରା ଓ zକୁ $-z$ ଦ୍ୱାରା ସ୍ଥାନଚ୍ୟୁତ କରାଯାଏ, ସେତେବେଳେ ତରଙ୍ଗ ଫଳନର କ'ଣ ହୁଏ ? ଏହି ପ୍ରଣାଳୀରେ ଯଦି ସ୍ଥିତିଶକ୍ତି ଫଳନର କୌଣସି ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୁଏନାହିଁ $[P(x, y, z) = P(-x, -y, -z)]$, ତେବେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇ ପାରିବ ଯେ, ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ହୁଏତ ଅପରିବର୍ତ୍ତିତ ରହିବ ବା ଏହାର ଚିହ୍ନ ବଦଳିଯିବ । ଯଦି ଚିହ୍ନ ଏକା ରହିବ, ତେବେ ଏହାର ଯୁଗ୍ମ ପାରିଟି ହେବ ବୋଲି ବୁଝାଯାଏ, ଯଦି ଚିହ୍ନ ବଦଳିଯାଏ, ତେବେ ଏହାର ଅଯୁଗ୍ମ ପାରିଟି ହେବ ବୋଲି ବୁଝାଯାଏ । ଯଦି xରେ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ହେଲେ ଗୋଟିଏ ବାକ୍ସରେ ଗୋଟିଏ କଣିକାକୁ ବର୍ଣ୍ଣନା କରୁଥିବା ତରଙ୍ଗ ଫଳନର ଏକାନ୍ତର କ୍ଷେତ୍ରରେ ଯୁଗ୍ମ ଓ

ଅଯୁଗ୍ମ ପାରିଟି ହେବ । ଏକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଯୁକ୍ତ ପରମାଣୁର ତରଙ୍ଗ ଫଳନର ପାରିଟି L ଯୁଗ୍ମ ବା ଅଯୁଗ୍ମ ହେବା ସଙ୍ଗେ ଯୁଗ୍ମ ବା ଅଯୁଗ୍ମ ହେବ । ଗୋଟିଏ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପାରିଟି ଦ୍ୱାରା ଗୋଟିଏ ନିଉକ୍ଲିୟସର ଅବସ୍ଥା ସୂଚିତ ହୁଏ (ଏହା ନିଉକ୍ଲିୟସର ବିଭିନ୍ନ ଅବସ୍ଥା ପାଇଁ ଏହା ବିଭିନ୍ନ ହୋଇପାରେ) ଏବଂ ନିଉକ୍ଲିୟର ପ୍ରକ୍ରିୟାମାନଙ୍କରେ ପାରିଟି ସଂରକ୍ଷଣର ବହୁତ ପ୍ରାଧାନ୍ୟ ରହିଛି ।

(ଜ) ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଚତୁଃମେରୁ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ : ଷ୍ଟାନୀୟ ବିସ୍ତାରରେ ଗୋଟିଏ ଗୋଳ ମଣ୍ଡଳ ସବୁ ସୂକ୍ଷ୍ମ ଅବସ୍ଥାରେ ନଥାଏ, ତେବେ ସାଧାରଣ ଭାବରେ ମିଳୁଥିବା ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ବଳର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧୀୟ କ୍ଷେତ୍ର ସାଙ୍ଗକୁ ଅଧିକ ଜଟିଳ କ୍ଷେତ୍ର ମିଳିପାରିବ । ଏଗୁଡ଼ିକ ଦ୍ୱିମେରୁ, ଚତୁଃମେରୁ ଓ ବହୁ ମେରୁ ସମ୍ବନ୍ଧୀୟ କ୍ଷେତ୍ର ହୋଇପାରେ । ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଦ୍ୱିମେରୁ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ନାହିଁ ବୋଲି ଯଥେଷ୍ଟ ପ୍ରମାଣ ରହିଛି; କିନ୍ତୁ ବହୁ ନିଉକ୍ଲିୟସରେ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଚତୁଃମେରୁ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ଲକ୍ଷ୍ୟ କରାଯାଇଅଛି ।

25·4 ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର ଉପାଦାନ :

ନିଉକ୍ଲିୟସଗୁଡ଼ିକ ଯେ ରୂପାନ୍ତରିତ ହୋଇ ପାରୁଛି, ଏହା ସୂଚାଇ ଦେଉଛି ଯେ ସେଗୁଡ଼ିକର ଗଠନ ଜଟିଳ, ସେଗୁଡ଼ିକ ସାଧାରଣ ଉପାଦାନରେ ଗଠିତ । Zର ପୂର୍ଣ୍ଣ ସଂଖ୍ୟାନ ମୂଲ୍ୟ ହେଉଥିବାରୁ ଏବଂ Mର ମୂଲ୍ୟ ପ୍ରାୟ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟକ ହେଉଥିବାରୁ ପ୍ରୋଟନ ସେହି ଉପାଦାନମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ଗୋଟିଏ ବୋଲି ଜଣାଯାଉଛି । ନିଉକ୍ଲିୟସଗୁଡ଼ିକର ବିନାଶବେଳେ α ଓ β କଣିକା ନିର୍ଗତ ହେଉଥିବାରୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଗୋଟିଏ ମୌଳିକ ଉପାଦାନ ବୋଲି ସୂଚନା ମିଳୁଛି ଏବଂ ହିଲିୟମ ନିଉକ୍ଲିୟସ ହୁଏତ ସେଥିରେ ଗୋଟିଏ ଉପାଦାନ ହୋଇପାରେ, କରୁବା ଏଥି ମଧ୍ୟରେ ଗଠିତ ହୋଇ ରହିଥିବା ସ୍ଥାୟୀ ଅଂଶ ବିଶେଷ । ତେଣୁ ପ୍ରଥମ ଅବସ୍ଥାରେ ଦିଆଯାଇଥିବା ମୀମାଂସାମାନଙ୍କ ଅନୁସାରେ, ସ୍ୱର୍ଜ ସଂଖ୍ୟା Z ଓ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଂଖ୍ୟା A ହୋଇଥିବା ଗୋଟିଏ ନିଉକ୍ଲିୟସରେ A ସଂଖ୍ୟକ ପ୍ରୋଟନ ଓ A - Z ସଂଖ୍ୟକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଅଛି, ସେଥିମଧ୍ୟରୁ ସମ୍ଭବ ଚାରୋଟି ପ୍ରୋଟନ ଓ ଦୁଇଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ହିସାବରେ ଦଳ ଦଳ ହୋଇଛି ବୋଲି ଅନୁମାନ କରାଯାଇଥିଲା । ନିଉକ୍ଲିୟସମଧ୍ୟରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଅବସ୍ଥାନ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ପ୍ର ତିବନ୍ଧକର

ସମ୍ଭାବ୍ୟହୀନ ହେଲା । ଏଥିମଧ୍ୟରୁ ଅନେକ ନ୍ୟୁଟ୍ରନ ଆବିଷ୍କାର ପୂର୍ବରୁ ମଧ୍ୟ ଜଣାପଡ଼ିଥିଲା । ଗୋଟିଏ କଥା ହେଲା, ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ସମସ୍ୟା । ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ରହିଲେ, କେବଳ ତା'ର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ପାଇଁ ଏକ ବୋର ମାଗ୍ନେଟନ ପରିମାଣର ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ଆଶା କରାଯିବ; କିନ୍ତୁ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ଏହା ତୁଳନାରେ ବହୁତ କମ୍ । ଯୁଗ୍ମ A ଓ ଅଯୁଗ୍ମ Z ବିଶିଷ୍ଟ ହାଲୁକା ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କରେ ଏହାଠାରୁ ଅଧିକ ବହୁଲାଂଶର ପରିସ୍ଥିତିର ସମ୍ମୁଖୀନ ହେବାକୁ ପଡ଼ିବ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, Z^{14}ରେ 14ଟି ପ୍ରୋଟନ ଓ 7ଟି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଥିବା ଦରକାର । ଏମାନେ ସମସ୍ତେ F – D କଣିକା ଓ ଏ ସମସ୍ତଙ୍କର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ½ । ଏହି କଣିକାଗୁଡ଼ିକର ମୋଟ ସଂଖ୍ୟା ଅଯୁଗ୍ମ ହେବାରୁ ଏହି ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଅଧା ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା ହେବ ଏବଂ ଏହା F – D ପରିସଂଖ୍ୟାନ ନିୟମ ପାଳନ କରିବ; କିନ୍ତୁ ନାଇଟ୍ରୋଜେନ ଗ୍ୟାସର ବ୍ୟାଣ୍ଡ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ଆଲୋଚନାରୁ ଜଣାଯାଉଛି ଯେ N^{14} B – E ପରିସଂଖ୍ୟାନ ନିୟମ ପାଳନ କରେ ଏବଂ ଏହାର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ 1 । ଶେଷରେ, ଅନିଶ୍ଚିତତା ନିୟମ ଅନୁସାରେ ଯଦି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପରି ଗୋଟିଏ ଅତି ହାଲୁକା ବସ୍ତୁ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ଆକାର ମଧ୍ୟରେ ରହେ, ତେବେ ତା'ର ଅସମ୍ଭବ ପରିମାଣର ଅଧିକ ଗତିଜ ଶକ୍ତି ହେବା ଦରକାର ।

ଅନ୍ୟପକ୍ଷରେ, ନ୍ୟୁଟ୍ରନ ଓ ପ୍ରୋଟନକୁ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର ଗଠନର ଉପାଦାନ ଭାବରେ ନିଆଗଲେ, ଏହି ସମସ୍ୟାଗୁଡ଼ିକ ଆପେ ଆପେ ସମାହିତ ହୋଇଯିବ । ଏହି ମତ ଅନୁସାରେ, ଗୋଟିଏ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ଚାର୍ଜ ସଂଖ୍ୟା Z ଓ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଂଖ୍ୟା A ହେଲେ ସେଥିରେ Zଟି ପ୍ରୋଟନ ଓ A – Z ସଂଖ୍ୟକ ନ୍ୟୁଟ୍ରନ ରହିଥାଏ ଏବଂ ମୋଟରେ A ସଂଖ୍ୟକ କଣିକା ରହିଥାଏ । ତେଣୁ N^{14}ରେ 7ଟି ପ୍ରୋଟନ ଓ 7ଟି ନ୍ୟୁଟ୍ରନ ରହିଥାଏ; ନ୍ୟୁଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଫର୍ମି କଣିକା ଓ ସେମାନଙ୍କର ଅର୍ଦ୍ଧ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟକ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ । ତେଣୁ N^{14}ର ପରିସଂଖ୍ୟାନ ଓ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଠିକ୍ ଭାବରେ ମିଳିଗଲା । ଆଗ ଅପେକ୍ଷା ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ମଧ୍ୟ କମ୍ ଅସୁବିଧା ଦେବ, କାରଣ ଏଥିରେ କେବଳ ଓଜନିଆ କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ବିଚାରକୁ ନିଆଯିବେ । β ବିନାଶ ପ୍ରଣାଳୀ ମଧ୍ୟ ଅସୁବିଧା କରିବ ନାହିଁ ବା ଅନ୍ତତଃ ଅନ୍ୟ ଭାବରେ ବ୍ୟାଖ୍ୟାତ ହୋଇପାରିବ । ଏଥିରେ ଅନୁମାନ କରିବାକୁ ହେବ ଯେ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସରେ ଗୋଟିଏ ନ୍ୟୁଟ୍ରନ ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନରେ ପରିଣତ ହୁଏ ଓ ଗୋଟିଏ β କଣିକା (ଏବଂ ଗୋଟିଏ

ଆଣ୍ଟିନ୍ୟୁଟ୍ରିନୋ) ସୃଷ୍ଟି ହୁଏ । ପରେ ଆବିଷ୍କୃତ ହୋଇଥିବା ଅନ୍ୟ ଦୁଇ ପ୍ରକାରର ବିନାଶ ମଧ୍ୟ ଏହି ତତ୍ତ୍ୱ ସହ ଖାପ ଖାଏ । ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନ ଗୋଟିଏ ନ୍ୟୁଟ୍ରନରେ ପରିଣତ ହୁଏ ଓ ଗୋଟିଏ ଯୁକ୍ତ ଇଲେକଟ୍ରନ ଓ ଗୋଟିଏ ନ୍ୟୁଟ୍ରିନୋ (ପଜିଟ୍ରନ ବିନାଶ) ସୃଷ୍ଟି ହୁଏ ବା ଗୋଟିଏ ପାରମାଣବିକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଧରା ହୁଏ (ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଧରା) ଏବଂ ଗୋଟିଏ ନ୍ୟୁଟ୍ରିନୋ ବିକିରିତ ହୁଏ । β ବିନାଶର କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଯାନ୍ତ୍ରିକ ତତ୍ତ୍ୱ ପାରମାଣବିକ ପରିବର୍ତ୍ତନରେ ଅଲୋକର କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସୃଷ୍ଟି ହେବା ତତ୍ତ୍ୱ ସହିତ ଅତି ଘନିଷ୍ଠ ଭାବରେ ସମତା ରକ୍ଷା କରିଅଛି । ଏହି ଦୁଇ ଘଟଣାର ସାମଞ୍ଜସ୍ୟରୁ ଦୃଢ଼ ଭାବରେ ଜଣାଯାଇଛି ଯେ, ଗୋଟିଏ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସରୁ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ନିଷ୍କାସିତ ହେବା ଦ୍ୱାରା ସେଥିମଧ୍ୟରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଅବସ୍ଥାନର ସୂଚନା ଦେଉ ନାହିଁ । ପ୍ରୋଟନ ଓ ନ୍ୟୁଟ୍ରନକୁ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ଉପାଦାନ ଭାବରେ ଗ୍ରହଣ କରିବା ଓ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନକୁ ଏପରି ଏକ ଉପାଦାନ ଭାବରେ ଗ୍ରହଣ ନକରିବାଦ୍ୱାରା ସମସ୍ତ ଜ୍ଞାତ ବିଷୟ ଭଲ ଭାବରେ ବୁଝାଯାଇ ପାରୁଛି । ତେଣୁ ଏହି ଧାରଣାକୁ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ତତ୍ତ୍ୱର ଏକ ମୌଳିକ ଗ୍ରହଣୀୟ ବିଷୟବସ୍ତୁ ଭାବରେ ଗ୍ରହଣ କରାଯାଇପାରେ । ପ୍ରୋଟନ ବା ନ୍ୟୁଟ୍ରନକୁ ବୁଝାଇବାପାଇଁ ସାଧାରଣତଃ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟନ ଶବ୍ଦଟି ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇଥାଏ ।

25.5 ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଓ ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତି :

ନ୍ୟୁଟ୍ରନ ଓ ପ୍ରୋଟନଗୁଡ଼ିକ ମିଳିତ ହୋଇ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ସବୁ ଗଠିତ ହୋଇଛନ୍ତି; ଏହି ଧାରଣାକୁ ଠିକ୍ ବୋଲି ଧରି ନେଇ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସଗୁଡ଼ିକର ବସ୍ତୁତ୍ୱ କେଉଁ ଭାବରେ ଗଠିତ ହୋଇଅଛି ସ୍ଥିର କରିବା ଓ ତାଦ୍ୱାରା ସେଗୁଡ଼ିକର ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତି ସମ୍ବନ୍ଧରେ କେତେକ ଜ୍ଞାନ ହାସଲ କରିବା । ଗୋଟିଏ ସ୍ଥାୟୀ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ବସ୍ତୁତ୍ୱ, ଏହାକୁ ଗଠନ କରିବାରେ ବ୍ୟବହୃତ ପ୍ରୋଟନ ଓ ନ୍ୟୁଟ୍ରନମାନଙ୍କର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ତୁଳନାରେ କମ୍ । କଣିକା-ମାନଙ୍କର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଶକ୍ତି ମଧ୍ୟରୁ କିଛି ଅଂଶ ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତିରେ ପରିଣତ ହୋଇଅଛି ବୋଲି ଅନୁମାନ କଲେ ଏ ଘଟଣାଟି ବୁଝାଯାଇପାରିବ; ଏଥିରେ ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତି ଓ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ହାନିର ସମ୍ବନ୍ଧ ଆଇନ୍‌ଷ୍ଟାଇନଙ୍କ ସମୀକରଣ ଅନୁସାରେ ହୋଇଅଛି । $E_{ବନ୍ଧନ} = \Delta Mc^2$ । ଅଧିକ ଜଣାଶୁଣା ପାରମାଣିକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତି ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଅତି ସହଜରେ ଧାରଣା

କର ହେବ । ଗୋଟିଏ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁ ଗଠନ କରିବାପାଇଁ ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନ ଗୋଟିଏ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନକୁ ଧରି ରଖିଲେ, 13·6 ଇ. ଭୋ. ଶକ୍ତି ଅପସରିତ ହୋଇଥାଏ (ଗୋଟିଏ ବା ଏକାଧିକ ଆଲୋକ କ୍ୱାଣ୍ଟମରେ); ତେଣୁ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଗୋଟିଏ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଓ ଗୋଟିଏ ମୁକ୍ତ ପ୍ରୋଟନର ବସ୍ତୁତ୍ୱଦ୍ୱୟର ଯୋଗଫଳଠାରୁ ସାମାନ୍ୟ କମ୍ ହୋଇଥାଏ । ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁକୁ ଅୟନରେ ପରିଣତ କରିବାପାଇଁ ପାଇଁ 13·6 ଇ. ଭୋ. ଶକ୍ତି ଅର୍ଥାତ୍ ଅନ୍ତତଃ ଏହାର ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତି ପରିମାଣର ଶକ୍ତି ଯୋଗ କରିବାକୁ ହୋଇଥାଏ । ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁର ଏକାଧିକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ରହିଥିଲେ, ଏ ସମସ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଙ୍କୁ ଦୂର କରିବାପାଇଁ ଆବଶ୍ୟକ ପରିମାଣର ଶକ୍ତିହିଁ ଏହାର ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତି । ଆୟନୀକରଣ ବିଭବ କହିଲେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଦୂର କରିବାପାଇଁ ଆବଶ୍ୟକ ହେଉଥିବା ନ୍ୟୂନତମ ଶକ୍ତି ବୁଝାଏ । ତେଣୁ ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତିଠାରୁ ଏହା ଭିନ୍ନ । ପରମାଣୁ-ମାନଙ୍କରେ, ଅତି ଶିଥିଳ ଭାବରେ ବନ୍ଧା ହୋଇଥିବା ଅୟନୀକରଣ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ବିଭବ ମାତ୍ର କେତେକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଭୋଲ୍ଟ; କେତେକ ହାଲୁକା ପରମାଣୁ ଛାଡ଼ିଦେଲେ ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ପରମାଣୁମାନଙ୍କ ପାଇଁ ମୋଟ ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତି ସ୍ଥୁଳ ଭାବରେ $E_B = 15{\cdot}6Z^{\frac{7}{3}}$ ଇ. ଭୋ. ଅନୁଭବସିଦ୍ଧ ସୂତ୍ର ଦ୍ୱାରାହିଁ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇଥାଏ । ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ବନ୍ଧନଶକ୍ତି ଅନୁରୂପୀ ବସ୍ତୁତ୍ୱରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ଅତି କମ୍ ହୋଇଥାଏ । ୟୁରାନିୟମ୍ ପରମାଣୁରେ ଏହା ମୋଟାମୋଟି ଏକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସହ ସମାନ ବା ସମସ୍ତ ପରମାଣୁର ପ୍ରାୟ 3×10^{-6} ଅଂଶ ଏବଂ ସିଧାଭାବରେ ପରିମାପ କରାଯାଉଥିବା ପରିମାଣର ସୀମିତ୍ ରେ; କିନ୍ତୁ ଅନ୍ୟ ପକ୍ଷରେ, ନାଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତି ସମସ୍ତ ବସ୍ତୁତ୍ୱର ଏକ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ଅଂଶ ହୋଇପାରେ ।

ଧ୍ରୁବ ସଂଖ୍ୟା Z ଓ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଂଖ୍ୟା A ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ନାଉକ୍ଲିୟସର ବସ୍ତୁତ୍ୱ

$$M_N(A, Z) = ZM_P + (A - Z)M_n - \frac{E_B}{c^2} \qquad (୨୫ ୭)$$

ଦ୍ୱାରା ଲେଖାଯାଇପାରେ । M_P ହେଉଛି ପ୍ରୋଟନର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଓ M_n ହେଲା ନିଉଟ୍ରନର ବସ୍ତୁତ୍ୱ । E_B/c^2 ପଦଟି ମୋଟ ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତିର ସମ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବୁଝାଉଛି । ନାଉକ୍ଲିୟସଟିକୁ Z ପ୍ରୋଟନ ଓ A − Z ନିଉଟ୍ରନରେ ଭାଙ୍ଗିଦେବାକୁ ହେଲେ ଏହି ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତି

ପରମାଣୁରେ ଶକ୍ତି ଯୋଗ କରିବାକୁ ହେବ । ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରୋଗ୍ରାଫ୍‌ରେ ଯେଉଁ ପରମାଣୁ ମାପ କରାଯାଏ, ତାହା ମୋଟାମୋଟି ପାରମାଣବିକ ବସ୍ତୁତ୍ୱ, ନିଉକ୍ଲିୟସର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ନୁହେଁ; ତେଣୁ ବସ୍ତୁତ୍ୱର ଯେଉଁ ଟେବୁଲ ଦିଆଯାଏ, ସେଥିରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ଙ୍କର ବସ୍ତୁତ୍ୱକୁ ମୋଟାମୋଟି ଯୁକ୍ତ ପରମାଣୁର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଦିଆଯାଇଥାଏ । ସମୀକରଣ (୨୫·୬)କୁ ନିଉକ୍ଲିୟସ ବସ୍ତୁତ୍ୱରେ ପ୍ରକାଶ କରି ପାରମାଣବିକ ବସ୍ତୁତ୍ୱରେ ପ୍ରକାଶ କଲେ,

$$M\,(A, Z) = M_N\,(A, Z) + ZM_e$$

$$= ZM_H + (A - Z)M_n - \frac{F_B}{c^2} \qquad (୨୫·୭)$$

ଏଠାରେ ବର୍ତ୍ତମାନ M_H ହେଲା ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁର ବସ୍ତୁତ୍ୱ । ଯଦି E_Bକୁ ନିଉକ୍ଲିୟସର ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତି ବୋଲି ଧରି ନିଆଯାଏ, ତେବେ ପାରମାଣବିକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ୍‌ମାନଙ୍କର ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତି ପାଇଁ ସାମାନ୍ୟ ସଂଶୋଧନ କରିବା ଦରକାର ହେବ ମାତ୍ର କେବଳ ଲଘୁତମ ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କୁ ଛାଡ଼ିଦେଲେ ଆମ ପାଇଁ ଏହି ସଂଶୋଧନ ନଗଣ୍ୟ ।

ନିଉଟ୍ରନ ଓ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଜଣାଥିଲେ, ସମୀକରଣ (୨୫·୭) ସାହାଯ୍ୟରେ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ମାପ କରାଯାଇଥିବା ଯେକୌଣସି ନିଉକ୍ଲିୟସର ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତି ଆମେ ହିସାବ କରି ଦେଇ ପାରିବା । ଗୋଟିଏ ସରଳ ଉଦାହରଣ ରୂପରେ ଆମେ ଡ୍ୟୁଟେରିୟମର ପରମାଣୁ ନେଇ ପାରିବା (ଏହା ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ଏକ ଆଇସୋଟୋପ ଓ ଏହାର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଂଖ୍ୟା 2):

$$M\,(H^2) = M_H + M_n - \frac{E_B}{c^2}$$

ଟେବୁଲ 10·2ରୁ

$$2{\cdot}014102 = 1{\cdot}007825 + 1{\cdot}008665 - \frac{E_B}{c^2}$$

$\frac{E_B}{c^2} = 0{\cdot}002388$ ଏକକ $E_B = 2{\cdot}225$ ମି. ଇ. ଭି.

ଗୋଟିଏ ଡ଼ିଉଟେରନକୁ ଭାଙ୍ଗି ଦେବାପାଇଁ 2·225 ଅ. ଇ. ଭୋ. ଶକ୍ତି ଦରକାର ଓ ଗୋଟିଏ ମୁକ୍ତ ନିଉଟ୍ରନ ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନ ଦ୍ୱାରା ବନ୍ଦୀ ହେବାପାଇଁ 2·225 ଅ. ଇ. ଭୋ. ଶକ୍ତି (γ ରଶ୍ମି ଆକାରରେ) ବହିର୍ଗତ ହେବା ଦରକାର ବୋଲି ଆମେ ସିଦ୍ଧାନ୍ତ କରୁଥାଉଁ । ସେହି ପ୍ରଣାଳୀରେ ଆମେ ୟୁରାନିୟମ U^{238} ନିଉକ୍ଲିୟସର ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତି ବାହାର କରି ପାରିବା ।

$$\frac{E_B}{C^2} = 92 \times 1·007825 + 146 \times 1·008665$$

$$-238·050770$$

$$= ·93422 \text{ ଏକକ}$$

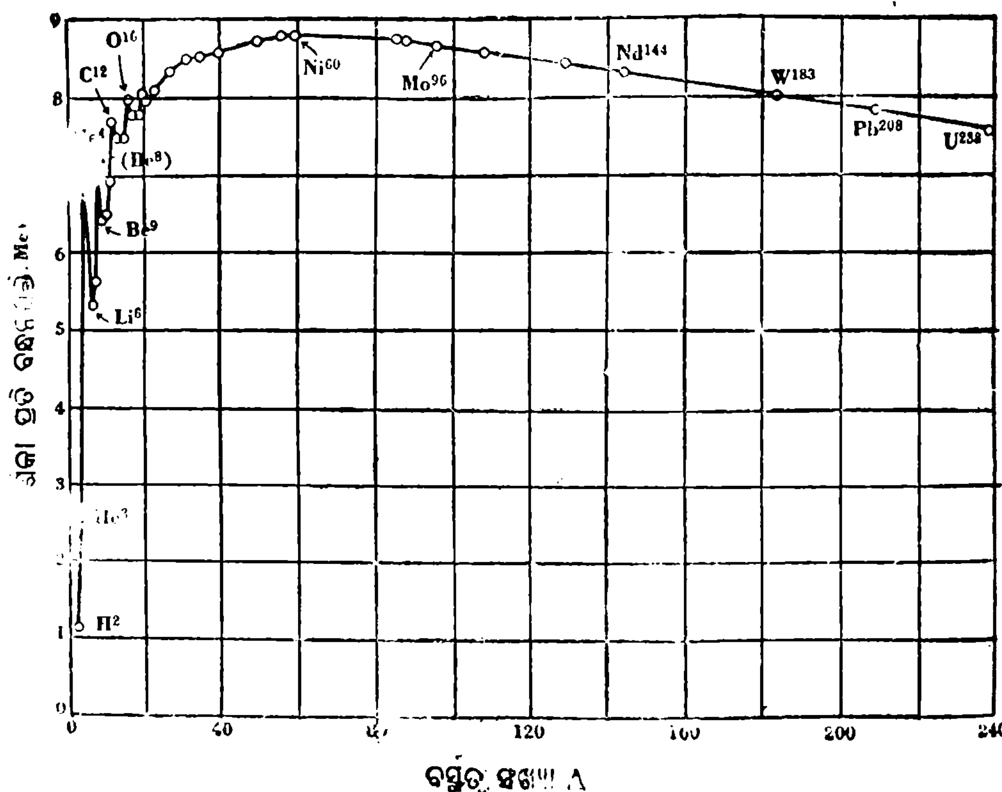
$E_B = 1802$ ଅ. ଇ. ଭୋ.

ତେଣୁ ଏହି ନିଉକ୍ଲିୟସରେ ବନ୍ଧନଶକ୍ତି ଏହାର ମୋଟ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ପରିମାଣର ପ୍ରାୟ 1% ।

ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର ବନ୍ଧନଶକ୍ତିର ହିସାବରୁ ଗୋଟିଏ ଆକର୍ଷଣୀୟ ତଥ୍ୟ ମିଳିଲା । ଲଘୁତମ ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କୁ ଛାଡ଼ିଦେଲେ, ବନ୍ଧନଶକ୍ତି କାର୍ଯ୍ୟତଃ A ହେତୁ ସରଳ ଭାବରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇଥାଏ ବା ଅନ୍ୟ ପ୍ରକାରରେ ପ୍ରକାଶ କଲେ, ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତି ପ୍ରତି କଣିକା ପାଇଁ A ମୂଲ୍ୟର ବହୁ ପରିସର ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରାୟ ଧ୍ରୁବ ହୋଇଥାଏ । ଚିତ୍ର ୨୫·୩ରେ ସ୍ଥାୟୀ ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କରେ ପ୍ରତି କଣିକା ପାଇଁ ବନ୍ଧନଶକ୍ତି Aର ଫଳନ ଭାବରେ ଅଙ୍କା ଯାଇଅଛି । ହାଲୁକା ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ କେତେକ ଅନିୟମିତତାକୁ ଛାଡ଼ିଦେଲେ, ଟେବୁଲର ପ୍ରାୟ ମଧ୍ୟସ୍ଥ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ରେଖାଟି ସାଧାରଣ ଭାବେ ହେଲା କ୍ରମେ 8·8 ଅ. ଇ. ଭୋ./କଣିକା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ବଢ଼ିବା ଏବଂ ତହିଁରୁ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରାୟ 7·6 ଅ. ଇ. ଭୋ/କଣିକାକୁ ଖସି ଆସିବା । ଏହା ଲକ୍ଷ୍ୟ କରିବାର କଥା ଯେ, କଣିକାମାନଙ୍କ ପାଇଁ ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତିର ହାର ପ୍ରାୟ ସମାନ ରହିବା, ପାରମାଣବିକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଏହି ହାରର ବିପରୀତ; ପାରମାଣବିକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାଇଁ ହାରାହାରି ବନ୍ଧନଶକ୍ତି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟାର ଫଳନ ଭାବରେ ଏକଧା ବଢ଼ି ବଢ଼ି ଚାଲିଥାଏ ($Z^{4/5}$ର ଅନୁପାତୀ ହୁଏ) ।

(କ) ଗୁରୁ କଣିକା ବିକିରଣ ପାଇଁ ସ୍ଥାୟିତ୍ୱ :

ଗୋଟିଏ ନିଉକ୍ଲିୟସର ମୋଟ ବନ୍ଧନଶକ୍ତିଯୁକ୍ତ ହେବା ନିଉକ୍ଲିୟସଟି ସ୍ଥାୟୀ ହେବାପାଇଁ ଯଥେଷ୍ଟ କାରଣ ନୁହେଁ, ଗୋଟିଏ ନିଉକ୍ଲିୟସ ସ୍ଥାୟୀ ହେବାପାଇଁ ସେହି ନିଉକ୍ଲିୟସଟି ଯେଉଁ ପ୍ରୋଟନ ଓ ନିଉଟ୍ରନମାନଙ୍କୁ ନେଇ ଗଠିତ, ସେମାନଙ୍କର ମୁକ୍ତ ଅବସ୍ଥାରେ ଅଥବା କ୍ଷୁଦ୍ର ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କରେ ବନ୍ଧନ ଅବସ୍ଥାରେ ବସ୍ତୁତ୍ୱମାନଙ୍କର ଯୋଗଫଳ



ପ୍ରତି କଣିକା ପାଇଁ ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତି, ମି. ଇ. ଭୋ. ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଂଖ୍ୟା A

[[illegible] ପ୍ରକୃତିରେ ମିଳୁଥିବା ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କ ପାଇଁ ପ୍ରତି ନିଉକ୍ଲିୟସର ହାରାହାରି ବନ୍ଧନଶକ୍ତି ଏବଂ ଅସ୍ଥାୟୀ ନିଉକ୍ଲିୟସ Be^8 ଯାହା କି 2ଟି α କଣିକାରେ ଭାଙ୍ଗିଯାଏ]

ଅପେକ୍ଷା ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସଟିର ବସ୍ତୁତ୍ୱ କମ୍ ହେବା ଦରକାର । α କଣିକା ଗୋଟିଏ ଦୃଢ଼ ଭାବରେ ବାନ୍ଧ ହୋଇଥିବା କଣିକା ହୋଇଥିବାରୁ ଓ ପିଣ୍ଡଅଙ୍କ ଟେବୁଲର ଉପରସୀମା ଅଞ୍ଚଳକୁ କଣିକାମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା କମିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ପ୍ରତି କଣିକାପାଇଁ ବନ୍ଧନଶକ୍ତି ପରିମାଣ ବଢ଼ିଯାଉଥିବାରୁ α – ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସଗୁଡ଼ିକ ଅସ୍ଥାୟୀ । ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସରୁ କୌଣସି ଦତ୍ତ କଣିକାକୁ ନିଷ୍କାସନ କରିବାପାଇଁ ଯେଉଁ ଶକ୍ତି ଦରକାର ହୁଏ, ତାକୁ ନିଷ୍କାସନ ଶକ୍ତି E_s (E_s) କୁହାଯାଏ । ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ (Z, A)ରେ α କଣିକାର ନିଷ୍କାସନ ଶକ୍ତି ହେଲା,

$$\frac{E_s(\alpha)}{c^2} = M(He^4) + M(Z-2, A-4) - M(ZA) \quad (୨୫\cdot୮)$$

ଯଦି α କଣିକାର ନିଷ୍କାସନ ଶକ୍ତି* ଋଯୁକ୍ତ ହୁଏ, ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ (Z, A)ଟି α କଣିକା ବିକିରଣ ପାଇଁ ଅସ୍ଥାୟୀ । ଲଘୁ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କ ପାଇଁ α କଣିକାର ନିଷ୍କାସନ ଶକ୍ତି ଯୁକ୍ତ ଅର୍ଥାତ୍ Ne^{20}ରୁ ଗୋଟିଏ α କଣିକା ନିଷ୍କାସନ କରିବାପାଇଁ 4·730 ମି. ଇ. ଭୋ. ଶକ୍ତି ଦରକାର ହେବ । ଅନ୍ୟ ପକ୍ଷରେ, P^{210}ର α ନିଷ୍କାସନ ଶକ୍ତି – 5·4ମି. ଇ. ଭୋ. । A>150 ବିଶିଷ୍ଟ ବହୁ ଆଇସୋଟୋପ α କଣିକା ବିକିରଣ ପାଇଁ ଅତ୍ୟନ୍ତ ଅସ୍ଥାୟୀ । ସ୍ୱଳ୍ପ ଶକ୍ତିଯୁକ୍ତ α ବିକିରକମାନଙ୍କର ଜୀବନକାଳ ଅତ୍ୟନ୍ତ ଦୀର୍ଘ ହୋଇଥିବାରୁ କାର୍ଯ୍ୟତଃ ଏହି ଆଇସୋଟୋପଗୁଡ଼ିକ ସ୍ଥାୟୀ ବୋଲି ଧରି ନିଆଯାଇପାରେ । ନିୟମ ଅନୁସାରେ, ଆହୁରି ଅଧିକ ସଂଖ୍ୟକ ଆଇସୋଟୋପ ଦୁଇ ବା ତିନି ସମାନ ଅଂଶରେ ଭାଙ୍ଗି ଯିବାପାଇଁ ଅସ୍ଥାୟୀ; କିନ୍ତୁ ଏଠାରେ ମଧ୍ୟ ସେଥିପାଇଁ ଜୀବନକାଳ ଏତେ ବେଶୀ ଯେ ଏପରି ଭାଙ୍ଗିବା ଦେଖିହେବନାହିଁ । ନିଉଟ୍ରନ ବା ପ୍ରୋଟନ ବିକିରଣ ପାଇଁ ସ୍ଥାୟିତ୍ୱ ବିଚାର କରିବା ଅଦୌ କୌଣସି ସମସ୍ୟା ନୁହେଁ । ଏହି କଣିକାମାନଙ୍କ ପାଇଁ ନିଷ୍କାସନ ଶକ୍ତି ସାଧାରଣତଃ ମୋଟାମୋଟି 7ରୁ 8 ମି. ଇ. ଭୋ. । କେବଳ କେତେକ ଲଘୁତମ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସକୁ ଛାଡ଼ିଦେଲେ ଏହାହିଁ ପ୍ରତି କଣିକା ପାଇଁ ଗଡ଼ ବନ୍ଧନଶକ୍ତି ।

---

* ସମସ୍ତ ସମୟରେ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ (Z, A)ରେ କଣିକାଟିର ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତିରୂପେ ନାମିତ ହୁଏ ।

(ଖ) ବିଟା ବିନାଶ ପାଇଁ ସ୍ଥାୟିତ୍ୱ :

β ବିନାଶ ଘଟଣାଟି ଫଳରେ ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର ସ୍ଥାୟିତ୍ୱ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ପୁଣି ଏକ କାରଣ ବିସ୍ତୃତିବାକୁ ହେଉଛି । ଏହା ହୋଇପାରେ ଯେ ନିଉକ୍ଲିୟସ ମଧ୍ୟରୁ କୌଣସି ଉପାଦାନ ବହିର୍ଗତ ହେବାପାଇଁ ଯଥେଷ୍ଟ ଶକ୍ତି ନମିଳିଲେ ମଧ୍ୟ ସେଥି ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ନିଉଟ୍ରନ ପ୍ରୋଟନରେ ବା ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନ ନିଉଟ୍ରନରେ ପରିଣତ ହୋଇପାରେ । ଅନେକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଏପରି ଘଟିଥାଏ । ସାଧାରଣତଃ ଗୋଟିଏ ନିଉକ୍ଲିୟସ ପ୍ରକୃତିରେ ଅବସ୍ଥାନ କରିବ କି ନା ତାହା, ସେହି ନିଉକ୍ଲିୟସ β ବିନାଶ ପାଇଁ କେତେଦୂର ସ୍ଥାୟୀ ହେବ ତାହା ସ୍ଥିର କରାଯାଇଥାଏ । ନିଉକ୍ଲିୟସ (Z, A)ଟି ବିଯୁକ୍ତ ବିଟା ବିନାଶ ପାଇଁ ସ୍ଥାୟୀ, ଯଦି

$$M\,(Z, A) \leq M\,(Z+1, A) \qquad (୫.୯)$$

ଏଠାରେ Mଗୁଡ଼ିକ ପାରମାଣବିକ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବୁଝାଉଛି, ନିଉକ୍ଲିୟସ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ନୁହେଁ । M (Z, A) ହେଲା ନିଉକ୍ଲିୟସର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଓ Z ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ବସ୍ତୁତ୍ୱର ଯୋଗଫଳ । ଯଦି ନିଉକ୍ଲିୟସଟିର ବିନାଶ ଘଟେ, ତେବେ ଏହା ନୂତନ ନିଉକ୍ଲିୟସକୁ ଓ β କଣିକାଟିକୁ ଯଥେଷ୍ଟ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଯୋଗ ଇବା ଦରକାର । ତେବେ ବସ୍ତୁତ୍ୱର ସର୍ତ୍ତ ହେବ,

$$M\,(Z, A) = M_N\,(Z, A) + ZM\,(e) \leq M_N\,(Z\,H, A) + ZM(e) + M(\beta)$$

ଏଠାରେ M_N କେବଳ ନିଉକ୍ଲିୟସର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବୁଝାଉଛି, M (e) ହେଲା ଗୋଟିଏ ପାରମାଣବିକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଏବଂ M (β) ହେଲା β କଣିକାର ବସ୍ତୁତ୍ୱ । ବିଯୁକ୍ତ β କଣିକା ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ହୋଇଥିବାରୁ ତାହାର ପକ୍ଷ M (Z+1,A) ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଯୋଗ କରାଗଲେ ପାରମାଣବିକ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ମିଳିବ ।

ପଜିଟ୍ରନ ବିକିରଣ ଲାଗି ବିନାଶ ଘଟିଲେ, ପ୍ରାରମ୍ଭିକ ନିଉକ୍ଲିୟସ ନୂତନ ନିଉକ୍ଲିୟସ ପାଇଁ ଓ β^+ କଣିକା ପାଇଁ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଯୋଗାଇବା ଦରକାର । ନିଉକ୍ଲିୟସ (A, Z+1)ର ପଜିଟ୍ରନ ସ୍ଥାୟିତ୍ୱ ସର୍ତ୍ତ ହେଲା

$$M_N\,(Z+1, A) \leq M_N\,(Z, A) + M\,(\beta^+)$$

ଉଭୟ ପକ୍ଷରେ Z+1 ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଯୋଗ କଲେ, ପଜିଟ୍ରନ ଓ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସମାନ ହୋଇଥିବାରୁ ଆମେ ପାରମାଣବିକ ବସ୍ତୁତ୍ୱରେ ଉକ୍ତି ପାଇବା;

$$M\,(Z+1,\ A)\leq M\,(Z,\ A)+\ M\,(e) \qquad (୨୫\cdot୧୦)$$

ସ୍ଥାୟିତ୍ୱ ବିଷୟର ପାଇଁ ଏକ ତୃତୀୟ ପ୍ରକାରର β ପ୍ରଣାଳୀ ହେଲ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବନ୍ଦୀ କରିବା ଦ୍ୱାରା ବିନାଶ । ଏହି ପ୍ରଣାଳୀରେ ଗୋଟିଏ କକ୍ଷଗତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ-ସାଧାରଣତଃ K ପକୋଷ୍ଠରୁ – ନଉକ୍ଲିୟସ ମଧ୍ୟରେ ଶୋଷିତ ହୋଇଥାଏ ଏବଂ ଗୋଟିଏ ନଉଟ୍ରିନୋ ବହିର୍ଗତ ହୋଇଥାଏ । ପରେଷ୍ଟିର ଶକ୍ତି ଶୂନ୍ୟ ହୋଇପାରେ । ତେଣୁ ସ୍ଥାୟିତ୍ୱ ପାଇଁ ସର୍ତ୍ତ ହେଲ,

$$M_N\,(Z+1,\ A)+M\,(e)\leq M_N\,(Z,\ A)$$

ବା ପାରମାଣବିକ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସ୍ୱପକ୍ଷରେ,

$$M\,(Z+1,\ A)\leq M\,(Z,\ A) \qquad (୨୫\cdot୧୧)$$

β ସ୍ଥାୟିତ୍ୱ ପାଇଁ ଉକ୍ତ ଉପରୋକ୍ତ ଉକ୍ତି ମଧ୍ୟରେ ଆମେ ପାରମାଣବିକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ବନ୍ଧନଶକ୍ତିକୁ ହିସାବକୁ ନେଇ ନଥାଉଁ, ସମସ୍ତ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଏହି ପରିମାଣ ଅତି ନଗଣ୍ୟ ହୋଇଥାଏ ।

ସ୍ଥାୟିତ୍ୱ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଦୁଇଟି ସର୍ତ୍ତ (୨୫·୯) ଓ (୨୫·୧୧)– ବିଯୁକ୍ତ β ବିନାଶ ପାଇଁ ଓ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବନ୍ଧନ ପାଇଁ । ନିଶ୍ଚିତଭାବରେ ଜଣାଇ ଦେଉଛୁ ଯେ ଦୁଇଟି ପାଖାପାଖି ଆଇସୋବାର ମଧ୍ୟରୁ ଗୋଟିଏ ନିଶ୍ଚୟ ଅସ୍ଥାୟୀ ହେବ । ଦୁଇଟି ମଧ୍ୟରୁ ଗୋଟିଏ ପ୍ରଣାଳୀରେ ଗୁରୁ ଆଇସୋବାରଟି ସର୍ବଦା † ଲଘୁ ଆଇସୋବାରରେ ପରିଣତ ହୋଇଥିବ । ତେଣୁ ଯଦି ଆଇସୋବାରଗୁଡ଼ିକର ବସ୍ତୁତ୍ୱ (ସେହି ନଉକ୍ଲିୟସଗୁଡ଼ିକର A

---

† ଏଠାରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତି ପାଇଁ ସଂଶୋଧନ କରାଯାଇନାହିଁ । କୌଣସି ଘଟଣା ଜଣାନାହିଁ ଯେଉଁଠାରେ କ ବିନାଶ ସମ୍ଭବ ଥିଲା ମାତ୍ର ଏଇଥିପାଇଁ ଘଟିଲନାହିଁ । କେତେକ କ୍ଷେତ୍ରରେ K ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବନ୍ଦୀ ନହୋଇ, ତା'ପରିବର୍ତ୍ତେ L ବା ଉପରର କୌଣସି ପ୍ରକୋଷ୍ଠରୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଆସିଥାଏ ।

ସମାନ ମାତ୍ର Z ପୃଥକ ସେଗୁଡ଼ିକୁ ପ୍ରତ୍ୟେକକୁ ଆଇସୋବାର କୁହାଯାଏ) Z ର ମୂଲ୍ୟ କୌଣସି ସର୍ବାଧିକ ଅବସ୍ଥାରୁ ବଦଳି ବଦଳି ଗିବା ସଙ୍ଗେ ବଦଳେ, ତେବେ ଗୋଟିଏ ମାତ୍ର ସେଥିରୁ ସ୍ଥାୟୀ ହେବ । ଏହି କାରଣରୁ ପ୍ରକୃତିରେ ମିଳୁଥିବା ନିଉକ୍ଲିୟସଗୁଡ଼ିକର ପର୍ଯ୍ୟାଲୋଚନା ନିଉକ୍ଲିୟସ ଗଠନ ପ୍ରଣାଳୀର ଅନ୍ୱେଷଣରେ ପ୍ରାଧାନ୍ୟ ଲଭକରେ; କାରଣ A ନିଉଟ୍ରନ ଓ ପ୍ରୋଟନମାନଙ୍କର ଭିନ୍ନ ସମାବେଶ ମଧ୍ୟରୁ ଯେଉଁଟି ପ୍ରକୃତିରେ ମିଳିଥାଏ, ତାହାହିଁ ନିମ୍ନତମ ଶକ୍ତିବିଶିଷ୍ଟ ସଜ୍ଜା ବୁଝାଇଥାଏ । ପୁନଶ୍ଚ A ଅଶିଷ୍ଟ ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ବସ୍ତୁତଃ Z ର ସମଫଳନ ନହୋଇଥିବା ଭଳି ନିଉକ୍ଲିୟସ ଦେଖିବାକୁ ମିଳେ: ସେତେବେଳେ ନିଉକ୍ଲିୟସଗୁଡ଼ିକ ଏହାର ଦୁଇ ପଡ଼ୋଶୀଙ୍କ ପାଇଁ ଅସ୍ଥାୟୀ ହୁଅନ୍ତି; ଏବଂ ଏହି A ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ ଦୁଇଟି ବା ସମସ୍ତ ସମୟରେ ତିନୋଟି ଆଇସୋବାର ମିଳିଥାଏ, ସେମାନଙ୍କର ଗୁର୍ଜରେ 2 ଏକକ ପ୍ରଭେଦ ଥାଏ । Ca^{40} - A^{40} ଏବଂ $Zn^{64} - Ni^{64}$ ହେଲ ଏହାର ଉଦାହରଣ † ।

25.6 ନିଉକ୍ଲିୟସରେ ବଳ :

ନିଉକ୍ଲିୟସରେ ବିଭିନ୍ନ ଉପାଦାନ ଯେଉଁ ବଳ ଦ୍ୱାରା ଅନୁଗତ ହୋଇ ଏକତ୍ରିତ ଅବସ୍ଥାନ କରନ୍ତି, ଆମ ହାତରେ ଥିବା ବିଭିନ୍ନ ବିଷୟବସ୍ତୁରୁ ସେହି ବଳର ପ୍ରକୃତି ସମ୍ବନ୍ଧରେ କେତେକ ସୂଚନା ସଂଗ୍ରହ କରିବା । ପ୍ରଥମରୁ ଏକଥା ସ୍ପଷ୍ଟ ଯେ ତାହା ସାଧାରଣ ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ ବଳ ନୁହେଁ କାରଣ ଏଥିରେ ସପୃକ୍ତ ସମସ୍ତ କଣିକାର କେବଳ ଯୁକ୍ତଶ୍ୱର୍ଜ

---

† ପଡ଼ୋଶୀ ଅଇସୋବାରକୁ ନଚେ କରି ରହିଥିବା ନିୟମର କେତେକ ବ୍ୟତିକ୍ରମ ଥିବା ପରି ମନେ ହୁଏ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, Cr^{50}, V^{50} ଏବଂ Ti^{50}— ଏମାନେ ସମସ୍ତେ ପ୍ରକୃତିରେ ରହିଛନ୍ତି । ବ ହୁ ସିଧା ମାପ କଲେ V^{50} ଅସ୍ଥାୟୀ ବୋଲି ଜଣାଯାଇଛି । କୌଣିକ ସଂବେଗରେ ବହୁ ପରିମାଣରେ (6 ଏକକ) ପରିବର୍ତ୍ତନ ଦରକାର ହେଉଥିବାରୁ ଏହାର ଜୀବନକାଳ ଦୀର୍ଘ, ବିନାଶ ଘଟେନାହିଁ ।

ଅନ୍ତୁ ବା ସେଗୁଡ଼ିକ ସୂକ୍ଷ୍ମ, ତେଣୁ ପୂର୍ବୋକ୍ତ ବଳଗୁଡ଼ିକ ଦ୍ୱାରା ଏପରି ଗୋଟିଏ ମଣ୍ଡଳ ସ୍ଥାୟୀ ହୋଇ ରହି ନପାରେ । ବଳର ଚକ୍ର କଥା ଛାଡ଼ିଦେଲେ ମଧ୍ୟ ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ ବଳ ପ୍ରଧାନ ଫଳାଫଳଗୁଡ଼ିକ ବୁଝାଇବାପାଇଁ ଅତି ଦୁର୍ବଳ । ମହାକର୍ଷଣ ବଳ ଏହାଠାରୁ ଅଧିକ ଦୁର୍ବଳ ଏବଂ ଏହି ସମସ୍ୟାର ସମାଧାନରେ ଆଦୌ ସହାୟକ ନୁହେଁ । ତେଣୁ ଗୋଟିଏ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ନୂତନ ପ୍ରକାର ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଅନୁମାନ କରିବାକୁ ହେବ, ଏହି ନୂତନ ପ୍ରକାରର ବଳର ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ ବଳ ବା ମହାକର୍ଷଣ ବଳ ସହିତ କୌଣସି ସମ୍ପର୍କ ନଥିବ ଓ ଏହା ବଡ଼ ଧରଣର ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକରେ କେବେ ପ୍ରକାଶ ପାଇ ନଥିବ । ଏପ୍ରକାର ବଳ ସହିତ ଆମର ଆଗରୁ କୌଣସି ସମ୍ବନ୍ଧ ନଥିବାରୁ ଆମ ହାତରେ ଥିବା ପରୀକ୍ଷା ଫଳ ସହିତ ଖାପ ଖାଇବା ଭଳି ସରଳ ଅନୁମାନ କରିବା ଅସମ୍ଭବ ଠକ୍ ହେବ । ଏତେ କେତେକ ଘଟଣା ଆମକୁ ଜଣାଥିବାରୁ, ଗୋଟିଏ ମାତ୍ର ସିଦ୍ଧାନ୍ତରେ ପହଞ୍ଚିବା ଆମପକ୍ଷେ ସମ୍ଭବ ହୋଇନାହିଁ ; ତେଣୁ ଆମେ କେବଳ ଏତିକି ମାତ୍ର ଆଶା କରିବା ଯେ ଆମ ସିଦ୍ଧାନ୍ତରେ ଯଥେଷ୍ଟ ସତ୍ୟତା ରହିବ ଏବଂ ପରୀକ୍ଷା ଲବ୍ଧ ଜ୍ଞାନର ପରିସର ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେସଙ୍ଗେ ଆମେ ଏସମ୍ବନ୍ଧରେ ଅଧିକ ଜ୍ଞାନ ହାସଲ କରି ପାରିବା ।

ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ବଳ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଗୋଟିଏ ପ୍ରଧାନ କଥା ହେଲା– ସେମାନଙ୍କର ସ୍ୱଳ୍ପ ପରିସର । ଯଦିଓ ଏହି ବଳ ଦୂରତା ଉପରେ କିପରି ଭାବରେ ନିର୍ଭର କରେ ଠିକ୍ ରୂପେ ଜଣାଯାଇନାହିଁ, ତଥାପି ଏ ବଳ ଯେ 10^{-15} ମି.ର କେତେ ଗୁଣ ଦୂରତାରେ କାର୍ଯ୍ୟତଃ ଲୋପେଇଯାଏ, ତାହାର ଯଥେଷ୍ଟ ପ୍ରମାଣ ରହିଛି । ଅନେକ ପରୀକ୍ଷାରୁ ଜଣାଯାଇଛି ଯେ ଦୁଇଟି ନଉକ୍ଲିୟସ ମଧ୍ୟରେ ଦୂରତା ପ୍ରାୟ 1 ବା 2×10^{-15} ମି. ହେଲେ ହଠାତ୍ ସେମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ବଳ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହେଉଅଛି । † ସରଳତା ଦୃଷ୍ଟିରୁ, ଏହି ବଳ ଗୋଟିଏ ଵିଭବର ଗ୍ରାଡ଼ିଏଣ୍ଟରୁ ଉତ୍ପନ୍ନ ହୋଇପାରିବ ବୋଲି ଧରି ନଆଯାଏ (ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ବିଷୟ ଛଡ଼ା ଏହି ଆଶାରେ ଯେ ନଉକ୍ଲିୟନମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟସ୍ଥ ବଳ ସେମାନଙ୍କର ଗତିବେଗ

† ଏହାଛଡ଼ା ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ ବଳ କେବଳ ପ୍ରୋଟନମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହୋଇଥାଏ ।

ଭାବରେ ପରିବର୍ତ୍ତନଶୀଳ ହେବ ନାହିଁ ।) ଏବଂ ଗାଣିତିକ ଭାବରେ ଆସୁଥିବା କଷ୍ଟସାଧ୍ୟତାଗୁଡ଼ିକ ଏହି ବିଭବର ଆକାର ନିଆଯାଇଥାଏ । ତଥାକଥିତ ବର୍ଗକୂପ ଆକାର ଅପେକ୍ଷାକୃତ ସରଳ ଓ ସୁବିଧାଜନକ ହେବ । ସୀମାଠାରେ ଅସୀମ ବଳର ଧାରଣା କରିବାରେ ଯେଉଁ ଅସୁବିଧା ହେବ, ତାହା ଦୂର କରିବା ପାଇଁ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧର ଏକ ପରିସରରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ସମ୍ଭବ ବୋଲି ଅନୁମାନ କରି ଦୂର କରିହେବ ।

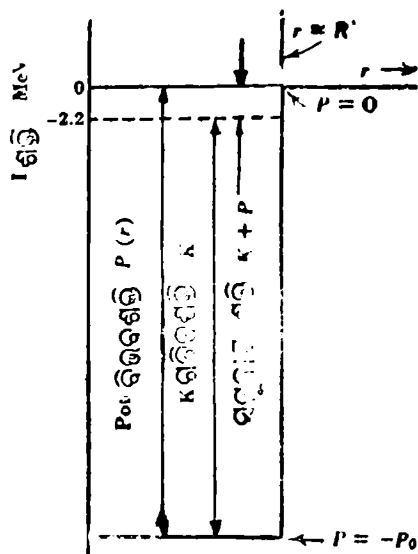
(କ) ଡ୍ୟୁଟେରନର ତତ୍ତ୍ୱ :

ନିଉକ୍ଲିୟର ବିଭବ ଓ ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ବିଷୟରେ ଜାଣିବାରେ ରହିଥିବା ଧାରଣାଗୁଡ଼ିକ ପରିଷ୍କାର କରିବା ପାଇଁ ଆମେ ଡ୍ୟୁଟେରନକୁ ବିଚାରକୁ ନେବା । ଡ୍ୟୁଟେରନ ହେଉଛି ଏକମାତ୍ର ନିଉକ୍ଲିୟସ ଯାହା ପାଇଁ କି ଏକ ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ଠିକ୍ ସମାଧାନ ସମ୍ଭବ । ତେବେ ଏହି ଡ୍ୟୁଟେରନ ସମସ୍ୟାର ବହୁ ଘଟଣା ଏହା ଅପେକ୍ଷା ଜଟିଳତର ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କରେ ଦେଖାଯାଇଥାଏ ଏବଂ ଏଗୁଡ଼ିକର ବ୍ୟବହାରରେ ଅପେକ୍ଷାକୃତ ଏହି ସରଳ ସମସ୍ୟାଟିର ସମାଧାନ ବହୁ ସାହାଯ୍ୟ କରିବ । ଚିତ୍ର ୨୫·୯ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଥିବା ବର୍ଗକୂପ ବିଭବ ଆମର ବିଚାରର ମୂଳବସ୍ତୁ ହେବ । ଏହି ଚିତ୍ରରେ ରେଖା ଟାଣି ପ୍ରୋଟନର ନିଉକ୍ଲିୟର କ୍ଷେତ୍ରରେ ନିଉଟ୍ରନର ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି (ଏବଂ ନିଉଟ୍ରନର ନିଉକ୍ଲିୟର କ୍ଷେତ୍ରରେ ପ୍ରୋଟନର ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି) ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ R ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତିର ମୂଲ୍ୟ $P=P_0$ ଓ ଏହାର ଅଧିକ ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ଶୂନ୍ୟ । ପ୍ରୋଟନର ସ୍ଥାନାଙ୍କ ତୁଳନାରେ ନିଉଟ୍ରନର ତରଙ୍ଗ ଫଳନକୁ $\psi\ (r, \theta, \phi)$ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ସାହାଯ୍ୟରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇ ପାରିବ ଏବଂ ତରଙ୍ଗ ସମୀକରଣର ଗୋଲୀୟ ପ୍ରକାର ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ସମାଧାନ ପାଇବାକୁ ଚେଷ୍ଟା କରିବା । ଏହି ସମାଧାନର ପ୍ରକାର ହେବ $\psi = u\ (r)/r$; $u\ (r)$ର ପରମବର୍ଗ r ଦୂରତାରେ ନିଉଟ୍ରନଟିକୁ ପାଇବାର ସମ୍ଭାବନା ହେବ ।

ତେବେ ତ୍ରିଜ୍ୟାର ସମୀକରଣ ହେବ

$$\frac{d^2u\ (r)}{dr^2} + \frac{M}{\hbar^2}(E+P_0)\ u\ (r) = 0 \qquad r<R \qquad (୨୫·୧୨କ)$$

$$\frac{d^2u\ (r)}{dr^2} + \frac{M}{\hbar^2}\ Eu\ (r) = 0 \qquad r>R \qquad (୨୫·୧୨ଖ)$$



[ଶକ୍ତି ମି. ଇ. ଭୋ., ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି $P\ (r)$, ଗତିଜ ଶକ୍ତି **K**, ମୋଟ ଶକ୍ତି $E=K+P$
ଚିତ୍ର ୧୪·୪ ନିଉଟ୍ରନ ଓ ପ୍ରୋଟନ ମଧ୍ୟରେ ଧାରଣବଳ ବିଭବ ସୂଚାଉଥିବା
ସରଳୀକୃତ ବର୍ଗକୂପ ବିଭବ]

ପ୍ରୋଟନ ଓ ନିଉଟ୍ରନର ବାସ୍ତବତଃ ଏକା ବସ୍ତୁତ୍ୱ ହୋଇଥିବାରୁ, ଏହି ସମୀକରଣଗୁଡ଼ିକରେ ସମ୍ମୁଖ M/2 ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇଅଛି । ସମୀକରଣ (୧୪·୧୨) ଦୁଇଟିର ଅତର ଓ ବଳ ଅବସ୍ଥା ଅନୁରୂପ କୌଣସି ସମାଧାନ ଅଛି କି ନା, ତାହା ଆମେ ବର୍ତ୍ତମାନ ବାହାର କରିବା । ବାସ୍ତବତଃ ଯେଉଁ ସମାଧାନଗୁଡ଼ିକରେ ମୋଟ ଶକ୍ତି ବିଯୁକ୍ତ ହେବ, ଆମେ ସେହି ସମାଧାନଗୁଡ଼ିକ ବାହାର କରିବା (ଚିତ୍ର ୧୪·୪ ଦେଖ) । ଡ୍ୟୁଟେରନ ଗୋଟିଏ ବଦ୍ଧ ସଂସ୍ଥାନ ବୋଲି ଜଣାଥିବାରୁ ଓ ଏହାର $E=-2{\cdot}225\text{MeV}$ ହୋଇଥିବାରୁ ଆମର ବର୍ତ୍ତମାନ ସମସ୍ୟା ହେଲା P_0 ଓ R ପାଇଁ ଏପରି ମୂଲ୍ୟ ସ୍ଥିର କରିବା ଯେପରିକି ଏହି ଫଳ ମିଳି ପାରିବ । $r<R$ ପାଇଁ, (୧୪·୧୨କ)ର ସମାଧାନ

$$u\,(r)=A\ \text{Sin}\ Kr\quad K=\sqrt{\frac{M(E+P_0)}{\hbar^2}}\ r<R\qquad (୧୪·\ ୩କ)$$

ପ୍ରକାରର ହେବ । ଏଠାରେ *cosine* ସମାଧାନ ନିଆଯାଇ ପାରିବନାହିଁ, କାରଣ $r=0$ ଠାରେ ଏହାର ସସୀମ ମୂଲ୍ୟ ରହୁଅଛି ଏବଂ $\psi = u(r)/r$ ଅସୀମ ହେବ । ବାହାର ସମାଧାନ ହେବ,

$$u(r) = B\,e^{-kr} \quad K = \sqrt{\frac{M-(E)}{\hbar^2}} \qquad r > R \qquad (୨୫.୧୩ଖ)$$

ଏଠାରେ ଯୁକ୍ତ ଏକ୍ସପୋନେନସୀୟ ସମାଧାନ ପରିତ୍ୟାଗ କରାଯାଇଅଛି । କାରଣ r ଅନନ୍ତର ନିକଟତର ହେଲେ ଏହା ψକୁ ଅସୀମ କରିଦେବ । $r=R$ଠାରେ ଏହି ଦୁଇ ସମାଧାନକୁ ଯୋଡ଼ି ଦେବାର ସର୍ତ୍ତରୁ ଜଣାଯିବ, ପ୍ରକୃତରେ ଶକ୍ତି ପାଇଁ କୌଣସି ଆଇଗେନ ମୂଲ୍ୟ ଅଛି କି ନା । $r=R$ଠାରେ ମୂଲ୍ୟଗୁଡ଼ିକୁ ଏବଂ ସେଗୁଡ଼ିକର ପ୍ରଥମ ଅବକଳନ-ଗୁଡ଼ିକୁ ସମାନ କରିଦେଲେ, ଆମେ ପାଇବା

$$A \sin kR = Be^{-kr} \qquad (୨୫.୧୪କ)$$

$$A\,k \cos kR = -Bk\,e^{-kr} \qquad (୨୫.୧୪ଖ)$$

(୨୫.୧୪b)କୁ (୨୫.୧୪a) ଦ୍ୱାରା ଭାଗ କଲେ,

$$K \operatorname{ctn} kR = -R \quad \text{ବା} \quad Ctn\,kR = -\frac{R}{k} \qquad (୨୫.୧୫)$$

Eର କୌଣସି (ବିଯୁକ୍ତ) ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ ଏହି ଲବ୍ଧ ସମୀକରଣର ସଂଖ୍ୟାରେ ବା ଗ୍ରାଫ୍‌ରେ ସମାଧାନ କରି P_o ଓ Rର ଆବଶ୍ୟକୀୟ ସର୍ତ୍ତ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରି ହେବ । ବର୍ତ୍ତମାନ ଯଦି $P_o >> R$ ନିଆଯାଏ, ତେବେ R/k ଛୋଟ ହେବ ଏବଂ kRର *cotangent* ଛୋଟହେବ ଏବଂ ବିଯୁକ୍ତ ହେବ । ଏହାକୁ ଲକ୍ଷ୍ୟ କଲେ ଆମ ଉଦ୍ଦେଶ୍ୟ ପାଇଁ ଯଥେଷ୍ଟ ହେବ । ତେବେ kRର ମୂଲ୍ୟ $\pi/2$ ଠାରୁ ସାମାନ୍ୟ ଅଧିକ ହେବ । ଚିତ୍ର ୨୫.୫ରେ ସମାଧାନ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଏଠାରେ $u(r)$କୁ rର ଏକ ଫଳନ ଭାବରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଭିତର (*sine*) ଫଳନ ଗୋଟିଏ ଉଚ୍ଚତମ ଅବସ୍ଥାରେ ପହଞ୍ଚିଛି ଏବଂ ଠିକ୍ କମି ଆସିବା-ବେଳକୁ ବାହାର ଏକ୍ସପୋନେନସିଆଲ ସହିତ ଯୋଗ ହୋଇଛି । ଏହି ଅବସ୍ଥା ପ୍ରଥମ ସମ୍ଭବ ଆଇଗେନ ମୂଲ୍ୟ ଦେଉଛି, କାରଣ ଯଦି ଭିତର ଫଳନ ଏହାର ପ୍ରଥମ ଉଚ୍ଚତମ

ମୂଲ୍ୟ ତେଜି ଯାଉନାହିଁ, ତେବେ ଏହା ବାହାରରେ କ୍ରମେ କମି ଯାଉଥିବା ଗୋଟିଏ ଏକ୍ସପୋନେନସିଆଲ ସହିତ ଯୋଡ଼ା ଯାଇ ପାରିବ ନାହିଁ । $kR\approx\pi/2$ ସର୍ତ୍ତରୁ ମିଳିବ,

$$\frac{\pi}{2}\approx kR\approx\frac{R}{\hbar}\sqrt{MP_0}$$

ବା

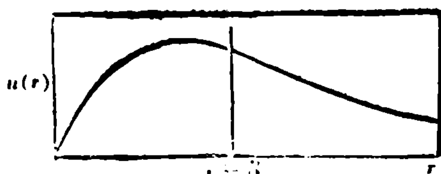
$$P_0R^2\approx\frac{h^2}{16M}=1{\cdot}02=10^{-28}\text{ ଅ. ଇ. ଭୋ. - ମି.}^2 \qquad (୨୫{\cdot}୧୭)$$

ଏହି ସମୀକରଣ ପାଇବା ପାଇଁ K ର (୨୫·୧୩କ)ରେ ଦିଆଥିବା ପଞ୍ଚ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇଅଛି ଓ କ୍ଷୁଦ୍ର ରାଶି E କୁ ଅବଜ୍ଞା କରାଯାଇଅଛି । ଯଦି R ପାଇଁ ଏହାର ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ମୂଲ୍ୟ 2×10^{-15}ମି. ନିଆଯାଏ, ଆମେ $P_0\approx25$ ଅ. ଇ. ଭୋ. ପାଇବା । ଏହା ଡ୍ୟୁଟେରନର ମୂଳ ଅବସ୍ଥାରେ ନ୍ୟୁଟ୍ରନ-ପ୍ରୋଟ ବନ୍ଧନର ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି । $kR\,n\,\pi/2$ ନେଲେ, $n=3, 5\cdots\cdots$ ଡ୍ୟୁଟେରନର ଉତ୍ତେଜିତ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ମିଳିବ । ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁର ଯେପରି ଉତ୍ତେଜିତ ସ୍ତରସବୁ ମିଳିଥାଏ । ତେବେ, ଡ୍ୟୁଟେରନର କୌଣସି ବି ଉତ୍ତେଜିତ ଅବସ୍ଥା ନାହିଁ ବୋଲି ଦେଖାଯାଇଛି ।

(ଖ) ମୁକ୍ତ ନିଉକ୍ଲିୟନଗୁଡ଼ିକର ବିକ୍ଷେପଣ :

ଡ୍ୟୁଟେରନ ଗୋଟିଏ ବଦ୍ଧ ମଣ୍ଡଳ ହୋଇଥିବାରୁ ନ୍ୟୁଟ୍ରନ ଓ ପ୍ରୋଟନ ମଧ୍ୟରେ ଆକର୍ଷଣ ବଳ ରହିଅଛି । ମୁକ୍ତ ନ୍ୟୁଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକର ପ୍ରୋଟନମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ବିକ୍ଷେପଣ ଅନୁଶୀଳନ କରି ଏହି ବଳ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଅଧିକ ଜ୍ଞାନ ହାସଲ କରାଯାଇପାରେ, ଏହି ପରୀକ୍ଷାମାନଙ୍କରେ ନ୍ୟୁଟ୍ରନମାନଙ୍କର ଏକ ସମାନ୍ତରାଳ ରଶ୍ମିପୁଞ୍ଜ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁ ବିଶିଷ୍ଟ ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁକୁ (ଯଥା—ପାରାଫିନ) ଆଘାତ କରେ ଏବଂ ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ଆଘାତ ଫଳରେ ବିଭିନ୍ନ କୋଣରେ ବିକ୍ଷେପିତ ହେଉଥିବା ନ୍ୟୁଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ନ୍ୟୁଟ୍ରନ ଶକ୍ତିର ଫଳନ ହିସାବରେ ସ୍ଥିର କରାଯାଏ (ଅନୁ. ୨୫·୧୫ଗ) । ସେମାନଙ୍କର କୌଣସି ଚାର୍ଜ ନଥିବାରୁ ନ୍ୟୁଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ରଦ୍ୱାରା ପ୍ରଭାବିତ ହୁଅନ୍ତି ନାହିଁ ଏବଂ ସେମାନଙ୍କର ବିକ୍ଷେପଣ ନିଉକ୍ଲିୟର ବଳର କାର୍ଯ୍ୟ ସିଧାସଳଖ ଦେଖାଇଦେବ ।

ନିଉଟ୍ରନ-ପ୍ରୋଟନ ବନ୍ଧୁରଣର ତରଙ୍ଗ-ଫଙ୍କସନ୍‌ର ଚିତ୍ର ମୋଟାମୋଟି ଡ୍ୟୁଟେରନର ଚିତ୍ର ପରି ଗଢ଼ାଯାଇଅଛି । ଏହି ଦୁଇ ଚିତ୍ରରେ ଏକ ପ୍ରଭେଦ ଯେ ଗୋଟିଏ ମୁକ୍ତ ନିଉଟ୍ରନ ପାଇଁ ମୋଟ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ଯୁକ୍ତ ଓ ସେହି କାରଣରୁ ଶକ୍ତି ପାଇଁ ପ୍ରତ୍ୟେକ ମୂଲ୍ୟ ସମ୍ଭବ । ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ Rର ବାହାରେ ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ଆଉ ଏକ୍‌ସ୍‌ପୋନେନ୍‌ସିଆଲ ଫଳନ ନୁହେଁ, ଏହା ଆପତନ କଣିକାମାନଙ୍କୁ ସୂଚାଉଥିବା ସମତଳ ତରଙ୍ଗମାଳା ଏବଂ ବନ୍ଧୁରିତ କଣିକାଗୁଡ଼ିକୁ ବୁଝାଉଥିବା ପ୍ରସରୁଥିବା ତରଙ୍ଗମାଳାର ଉପରିସ୍ଥାପନଦ୍ୱାରା ଗଠିତ । ସ୍ୱଳ୍ପ ଶକ୍ତିଯୁକ୍ତ ନିଉଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ହିସାବରୁ ମିଳୁଥିବା ବନ୍ଧୁରଣ ବଳୟର ଆନୁମାନିକ ଆକାରର ମୋଟାମୋଟି ଅନୁଗତ ନୁହେଁ ଏବଂ ଫଳାଫଳ ମୂଳତଃ ଡ୍ୟୁଟେରନର ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତି ଦ୍ୱାରା ସ୍ଥିର ହୋଇଥାଏ ।



[ଚିତ୍ର ୨୫.୫ $u(r) = r\psi(r)$ ଫଳର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧୀୟ ପରିବର୍ତ୍ତନ ଏହା ଡ୍ୟୁଟେରନର ମୂଳ ଅବସ୍ଥା ବୁଝାଉଛି।

ସ୍ୱଳ୍ପ ଶକ୍ତିଯୁକ୍ତ ନିଉଟ୍ରନମାନଙ୍କର ପ୍ରୋଟନମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ବନ୍ଧୁରଣ ପରିମାଣ ଏହି ସରଳ ମୀମାଂସାଦ୍ୱାରା ମିଳୁଥିବା ପରିମାଣର ଉଚ୍ଚତମ ସମ୍ଭାବ୍ୟ ମୂଲ୍ୟର ଚତୁର୍ଗୁଣ ହୁଏ । ତାରତମ୍ୟ ଏତେ ବେଶୀ ହେଉଥିବାରୁ ମନେ ହେଉଛି ଯେ ଡ୍ୟୁଟେନ ସମସ୍ୟାରେ ନଥିବା ଭଳି କୌଣସି ବିଷୟ ବନ୍ଧୁରଣ ସମସ୍ୟାରେ ରହିଅଛି । ଇ. ପି. ୱିଗନର 1936 ମସିହାରେ ଏହି ବିଷୟଟି ଦର୍ଶାଇଲେ । ସେ ଦେଖିଲେ ଯେତେବେଳେ ନିଉଟ୍ରନ ଓ ପ୍ରୋଟନ ଡ୍ୟୁଟେରନରେ ମୂଳ ଅବସ୍ଥାରେ ରହିଥାନ୍ତି, ସେତେବେଳେ ସେମାନଙ୍କର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଉଭୟ ସମାନ୍ତର ହୋଇଥାଏ (ଡ୍ୟୁଟେରନର ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ପରିମାଣ 1 ହେବା ପାଇଁ) । କିନ୍ତୁ ମୁକ୍ତ ନିଉଟ୍ରନ ବନ୍ଧୁରିତ ହେବାବେଳେ ଏପରି କୌଣସି ପ୍ରତିବନ୍ଧକ ନାହିଁ । ଏଠାରେ ସମାନ୍ତର ଓ ଅସମାନ୍ତର ଉଭୟ ପ୍ରକାରରେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ରହିପାରେ ।

ଅସମାନ୍ତର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ବିଶିଷ୍ଟ ନିଉଟ୍ରନ ଓ ପ୍ରୋଟନର ଆନୁମାନିକ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାକୁ ଏପରି ସ୍ଥିର କରିବା ପାଇଁ ଯେଉଁସବୁ ବିଭିନ୍ନ ପରୀକ୍ଷାଫଳ ସହିତ ଏହା ଖାପ ଖାଇବ । ଏହିପରି ସ୍ଥିର କରିବାରୁ ଦେଖାଗଲା ଯେ ବଳ ଘୂର୍ଣ୍ଣନର ଆପେକ୍ଷିକ ଅବସ୍ଥାନ ଉପରେ ବହୁ ପରିମାଣରେ ନିର୍ଭର କରେ; ଅସମାନ୍ତର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଥିବାବେଳେ କୂପ କମ୍ ଗଭୀର ଓ ସମାନ୍ତର ଘୂର୍ଣ୍ଣନବେଳେ ଏହି କୂପର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ଯେତେ ତା ତୁଳନାରେ ଅସମାନ୍ତର-ବେଳେ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ବୃହତ୍ତର । ଏହି ଅବସ୍ଥାକୁ ସମସ୍ତ ସମୟରେ ଡ୍ୟୁଟେରନର ଏକ ଉତ୍ତେଜିତ ଅବସ୍ଥା (ଏକୁଟିଆ ସାହଚର୍ଯ୍ୟରେ) ବୁଝାଯାଇଥାଏ । ଏହି ଅବସ୍ଥାରେ I=0 ଏବଂ ବିଯୁକ୍ତ ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତି ପ୍ରାୟ 0·1 ମି. ଇ. ଭୋ. ।

(ଗ) ବଳର ଚାର୍ଜ ଅନିର୍ଭରଶୀଳତା :

କେତେକ ସମୟ ପାଇଁ ସାଧାରଣ ଭାବରେ ବିଶ୍ୱାସ କରାଗଲା ଯେ, ନଉକ୍ଲିୟର ବଳ କେବଳ ନିଉଟ୍ରନ ଓ ପ୍ରୋଟନ ମଧ୍ୟରେ କାର୍ଯ୍ୟ କରିଥାଏ ଏବଂ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ତତ୍ତ୍ୱ ଏହି ଅନୁମାନକୁ ଭିତ୍ତି କରି ଗଢ଼ି ଉଠିଥିଲା । କିନ୍ତୁ 1935 ମସିହାରେ ଅଧିକ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ପ୍ରୋଟନମାନଙ୍କର ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ଗ୍ୟାସ ମଧ୍ୟରେ ବିଚ୍ଛୁରଣରୁ ଜଣାଗଲା ଯେ, ପ୍ରୋଟନ ସହିତ ପ୍ରୋଟନର ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାରେ ନଉକ୍ଲିୟର ବଳ କାର୍ଯ୍ୟ କରିଥାଏ । ଏହି ପ୍ରକାରର ଅଧିକ କାର୍ଯ୍ୟ ହେବା ଫଳରେ ସିଦ୍ଧାନ୍ତ ହେଲା ଯେ, ପ୍ରୋଟନ ପ୍ରୋଟନ ମଧ୍ୟରେ କାର୍ଯ୍ୟ କରୁଥିବା ବଳରୁ ଯେଉଁ ଅଂଶ ନଉକ୍ଲିୟର ବଳ, ତାହାର ପରିମାଣ ପ୍ରୋଟନ ଓ ନିଉଟ୍ରନ ମଧ୍ୟରେ କାର୍ଯ୍ୟ କରୁଥିବା ନଉକ୍ଲିୟର ବଳ ସହିତ ଅତି ସୂକ୍ଷ୍ମଭାବରେ ହିସାବ କଲେ ମଧ୍ୟ ସମାନ ।† ଏହାଛଡ଼ା, ଯେଉଁ ଆଇସୋବାରଗୁଡ଼ିକରେ ପ୍ରୋଟନ ନିଉଟ୍ରନକୁ ବା ନିଉଟ୍ରନ ପ୍ରୋଟନକୁ ସ୍ଥାନଚ୍ୟୁତ କରିଛି, ସେଗୁଡ଼ିକର ଶକ୍ତିର ତୁଳନା

---

† ଯେଉଁ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାଗୁଡ଼ିକ ଉଭୟ କ୍ଷେତ୍ରରେ ସମ୍ଭବ, କେବଳ ସେଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ ଏହି ଉକ୍ତି ସତ୍ୟ । ପାଉଲିଙ୍କର ନିୟମ, ଦୁଇଟି ପ୍ରୋଟନ ପାଇଁ କେତେକ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ପରିତ୍ୟାଗ କରୁଅଛି ଯଥା—ଦୁଇଟି ପ୍ରୋଟନଙ୍କର ଅନ୍ୟସବୁ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା ସମାନ ହେଲେ, ସେମାନେ ଅସମାନ୍ତର ଘୂର୍ଣ୍ଣନବିଶିଷ୍ଟ ହେବ ।

ଫଳରେ $n-n$, $P-p$ ଓ $P-n$ ବଳଗୁଡ଼ିକ ସମାନ ହୋଇ ପ୍ରମାଣ ମିଳିବ । ଏ ତିନୋଟି ବଳ ମୂଳତଃ ଏକା ବୋଲି ବର୍ତ୍ତମାନ ସାଧାରଣ ଭାବରେ ଗୃହୀତ ହେଉଅଛି । ଏହି କଥାଟିକୁ ବଳର ଚାର୍ଜ ଅନଭରଶୀଳତା ବୋଲି କୁହାଯାଇଥାଏ । ନିଉକ୍ଲିୟସ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରୋଟନ ଓ ନିଉଟ୍ରନର ବ୍ୟବହାରରେ ଏପରି ସମାନତା ସେ ଦୁଇଟି କଣିକା ମୂଳତଃ ଏକ ଘନିଷ୍ଠ ଭାବରେ ସଂପୃକ୍ତ ବୋଲି ସୂଚନା ଦିଏ । ଏ ଦୁଇଟି ଗୋଟିଏ କଣିକାର ଦୁଇଟି ଅବସ୍ଥା ଓ କେବଳ ଚାର୍ଜରେ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ବୋଲି ମନେ କରାଯାଇପାରେ ।

(ଘ) ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କରେ ନିଉକ୍ଲିୟନମାନଙ୍କର ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା; ବିନିମୟ ବଳ :

ଏପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ସରଳ ଦୁଇ କଣିକା ବିଶିଷ୍ଟ ବସ୍ତୁରେ ଦେଖାଯାଉଥିବା ଦୁଇ ନିଉକ୍ଲିୟନ ମଧ୍ୟରେ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ବଳ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଆମେ ଆଲୋଚନା କରିଆସିଁ । ଏହି ବଳ ଗୋଟିଏ ଅବସ୍ଥାରୁ ଅବକଳନ ଦ୍ୱାରା ମିଳିପାରିବ ଏବଂ ଏହି ବଳର କଣିକାଗୁଡ଼ିକର ଆପେକ୍ଷିକ ସ୍ପିନ୍ ଦିଗ ଉପରେ ନିର୍ଭର କଲେ ମଧ୍ୟ ସେଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରୋଟନ କି ନିଉଟ୍ରନ, ତା ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିବ ନାହିଁ ବୋଲି ମନେ ହେଲା । ଏହିପରି ବିଭିନ୍ନ ଏହି ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଧାରଣା ଦେଇ ପାରିଲା । ଯେତେବେଳେ ମଣ୍ଡଳଗୁଡ଼ିକରେ ଦୁଇଟିରୁ ଅଧିକା ରହିବେ, ଆମେ ଜଟିଳତା ଆଶା କରିବା । ତାଲେ ନିଉକ୍ଲିୟନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ କାମ କରୁଥିବା ବଳ ବ୍ୟବହାରରେ ଜଣାଥିଲେ ମଧ୍ୟ ବହୁ କଣିକା ସମସ୍ୟାର ଗାଣିତିକ ଜଟିଳତାର ସମ୍ମୁଖୀନ ହେବାକୁ ପଡ଼ିବ । ଅଜ୍ଞ ମଧ୍ୟ ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର ବନ୍ଧନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ କିଛି ଜ୍ଞାନ ହାସଲ କରିବାପାଇଁ ଆମେ ଯଥାସମ୍ଭବ ସରଳ ବଳ ଅନୁମାନ କରିବା ଓ ପରୀକ୍ଷାଦ୍ୱାରା ସେହି ଅନୁମାନର ସତ୍ୟତା ସ୍ଥିର କରିବା ।

ଦୁଇଟି ସ୍ୱତନ୍ତ୍ରଭାବେ ଥିବା ନିଉକ୍ଲିୟନ ମଧ୍ୟରେ ଯେଉଁ ବଳ କାମ କରିଥାଏ, ସେହି ବଳ ସାହାଯ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ନିଉକ୍ଲିୟନ ନିଉକ୍ଲିୟସ ମଧ୍ୟସ୍ଥ ସମସ୍ତ କଣିକା ସଙ୍ଗେ କାର୍ଯ୍ୟ କରିଥାଏ ବୋଲି ଅନୁମାନ କରିବା ସବୁଠାରୁ ସରଳ ହେବ । କିନ୍ତୁ ପରୀକ୍ଷାରୁ ଦେଖାଗଲା ଯେ କେତେକ ଲଘୁତମ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଛାଡ଼ିଦେଲେ ଅନ୍ୟ ସବୁ ନିଉକ୍ଲିୟସରେ ପ୍ରତି କଣିକାପାଇଁ ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତି ସମାନ । ତେଣୁ ଆମର ଉକ୍ତ ସରଳ ଅନୁମାନ ସତ୍ୟ ନୁହେଁ । ଗୋଟିଏ ନିଉକ୍ଲିୟସରେ A ଟି କଣିକା ଥିଲେ, ଏଥିରେ $A(A-1)/2$ ଯୁଗଳ

ଜଣାଇପାରିବ । ଯଦି ଏସବୁ ବଳ ମଧ୍ୟରେ ଆକର୍ଷଣୀୟ ବଳ ଥାଏ, ତେବେ ମୋଟ ବନ୍ଧନଶକ୍ତି Aର ଅନୁପାତୀ ନହୋଇ A²ର ଅନୁପାତୀ ହେବ । ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ A ଅନୁସାରେ ବଢ଼େ, ଯଦି ପ୍ରତ୍ୟେକ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ମଧ୍ୟରେ ପୂର୍ବରୁ ଯେତୋଟି କଣିକା ରହିଛି, ତାହାପରେ ନୂଆ ପ୍ରତ୍ୟେକ କଣିକା ସମାନ ପରିମାଣର ସ୍ଥାନ ଅଧିକାର କରିଥାଏ । ତେଣୁ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟନମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟସ୍ଥ ବଳ କୌଣସି ଉପାୟରେ 'ତୃପ୍ତ' ହୋଇଥାଏ । ଗୋଟିଏ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟନ କେତେକଙ୍କ ସଙ୍ଗେ ବାନ୍ଧି ହେବା ପରେ ଆଉ ଯେତୋଟି ମିଳିଲେ ମଧ୍ୟ ସେଗୁଡ଼ିକ ସହିତ ବାନ୍ଧି ହୁଏନାହିଁ ।

ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ବଳଗୁଡ଼ିକଙ୍କର ଅନ୍ତତଃ ଆଂଶିକ ଭାବରେ 'ବିନିମୟ' ଗୁଣ ଅଛି ବୋଲି ସାଧାରଣ ଭାବରେ ଅନୁମାନ କରାଯାଉଅଛି; ଅର୍ଥାତ୍ ଦୁଇଟି କଣିକା ମଧ୍ୟରେ ବଳର ନିୟମ ସେମାନଙ୍କର ବିନିମୟ ଅନୁସାରୀ ତରଙ୍ଗ ଫଳନର ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ଉପରେ ପ୍ରଧାନଲକ୍ଷ୍ୟ ଭାବରେ ନିର୍ଭର କରେ । ସମାଙ୍ଗୀ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ଅଣୁମାନଙ୍କର ବନ୍ଧନର କେତେକ ପରିମାଣରେ ଏହି ଗୁଣ ଅଛି, ସେଥିରେ ସ୍ପର୍ଣ୍ଣମାନଙ୍କ ସ୍ଥାନରେ ବଣ୍ଟନ ଉପରେ ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ବଳର କାର୍ଯ୍ୟକାରିତା ନିର୍ଭର କରିଥାଏ ଏବଂ ଏହା ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ଆବଶ୍ୟକତା ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିଥାଏ । ତେବେ ଆଣବିକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଏବଂ କାର୍ଯ୍ୟତଃ ସମସ୍ତ ପାରମାଣବିକ ସଂଶାରେ—ବଳଗୁଡ଼ିକ ମୂଳତଃ ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ ବା ସ୍ଥିରଚୁମ୍ବକୀୟ । ତେଣୁ ଏ ବଳଗୁଡ଼ିକ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟଗୁଣ ଉପରେ ସ୍ପଷ୍ଟ ଭାବରେ ନିର୍ଭର କରନ୍ତି ନାହିଁ । ତେଣୁ ବିନିମୟ ସମାକଳ ଦ୍ୱାରା ବିଭିନ୍ନ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ଗୁଣବିଶିଷ୍ଟ ଅବସ୍ଥାରେ ଶକ୍ତିର ପ୍ରଭେଦ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇଥାଏ । ଏହାଦ୍ୱାରା କଣିକାଗୁଡ଼ିକ କେଉଁ କେଉଁ ଅବସ୍ଥାରେ ପରସ୍ପରଠାରୁ ଦୂରେଇ ଯାଆନ୍ତି, ଜଣାପଡ଼ିଥାଏ । ଏ ପ୍ରଣାଳୀ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ମଧ୍ୟରେ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହୋଇଥାଏ ବୋଲି ଅନୁମାନ କରାଯାଇଥାଏ ଏବଂ "ସାଧାରଣ" ବଳ ନାମରେ ପରିଚିତ କେବଳ ଦୂରତାନୁପେକ୍ଷୀ ବଳର 'ତୃପ୍ତ' ଗୁଣ ରହିବ । ପାରମାଣବିକ ସ୍ୱଭାବ ଦ୍ୱାରା ଦେଖାଯାଏ ଯେ ଏପ୍ରକାର ବଳ ଯେଉଁ ପ୍ରଭାବ ପକାଏ, ତାହା ଯଥେଷ୍ଟ ନୁହେଁ ଏବଂ ତରଙ୍ଗଫଳନର ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ଗୁଣ ଉପରେ ସ୍ପଷ୍ଟ ଭାବରେ ନିର୍ଭର କରୁଥିବା ବଳ ବ୍ୟବହାର କରିବାର ଆବଶ୍ୟକତା ଅଛି, ଏପ୍ରକାର ବଳକୁ 'ବିନିମୟ ବଳ' କୁହାଯାଏ । ବହୁ ପ୍ରକାରର ବିନିମୟ ବଳ ପ୍ରସ୍ତାବିତ ହୋଇଅଛି । ବୋଧହୁଏ ତଥାକଥିତ 'ମାଜୋରାନା ପାରସ୍ପରିକକ୍ରିୟା'

ସେଥି ମଧ୍ୟରେ ସବୁଠାରୁ ସରଳ। ଏଥିରେ ଅନୁମାନ କରାଯାଇଛି ଯେ, ଯଦି ମଣ୍ଡଳଟିକୁ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣଭାବେ ପ୍ରକାଶ କରୁଥିବା ତରଙ୍ଗ ଫଳନ କଣିକା ଦୁଇଟିର ସ୍ଥାନାଙ୍କ ପରସ୍ପର ମଧ୍ୟରେ ବଦଳାଇଦେଲେ ଚିହ୍ନ ବଦଳାଏ ନାହିଁ ଅର୍ଥାତ୍ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟୀ ହୁଏ, ସେତେବେଳେ ବଳ ଆକର୍ଷଣୀୟ ହୋଇଥାଏ ଏବଂ ବିକର୍ଷଣୀୟ ହୁଏ ଯେତେବେଳେ ତରଙ୍ଗ ଫଳନର ଚିହ୍ନ ବଦଳିଯାଏ ଅର୍ଥାତ୍ ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ଅସାମଞ୍ଜସ୍ୟୀ ହୁଏ। ଏଥିପାଇଁ ଆମେ ଅନୁମାନ କରୁ ଯେ, ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସକୁ ବର୍ଣ୍ଣନା କରୁଥିବା ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ଏକ କଣିକା ତରଙ୍ଗ ଫଳନର ସମାହାର ଭାବରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରିବ. ପାରମାଣବିକ ତରଙ୍ଗ ଫଳନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଯେପରି କେତୋଟି ଗୁଣସୂଚକ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା n, l, m_1 ବ୍ୟବହାର କରାଯାଏ, ସେହିପରି ଏଠାରେ ମଧ୍ୟ ପ୍ରତ୍ୟେକ ତରଙ୍ଗ ପାଇଁ କରାଯାଇପାରିବ। n, l, m_1ର ପ୍ରତ୍ୟେକ ମୂଲ୍ୟବିଶିଷ୍ଟ କୌଣସି ଅବସ୍ଥାରେ ସର୍ବାଧିକ ଚାରିଗୋଟି ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟନ ରହିପାରିବ, ବିପରୀତ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଥାଇ ଦୁଇଟି ପ୍ରୋଟନ ଓ ବିପରୀତ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଥାଇ ଦୁଇଟି ନ୍ୟୁଟ୍ରନ। ଏହି ଚାରିଗୋଟି କଣିକା ମଧ୍ୟରୁ ଯେକୌଣସି ଯୁଗଳ ମଧ୍ୟରେ ସ୍ଥାନାଙ୍କ ବିନିମୟ ପାଇଁ ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ଆପେ ଆପେ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟୀ ହେବ ଏବଂ ସେହି କାରଣରୁ ପ୍ରତ୍ୟେକ ଯୁଗଳ ମଧ୍ୟରେ ଆକର୍ଷଣୀୟ ବଳ କାର୍ଯ୍ୟ କରିବ। ୪ କଣିକାର ନିମ୍ନତମ ଅବସ୍ଥାରେ ଚାରିହେଁଟିଯାକ କଣିକା ରହିଥାନ୍ତି, ତେଣୁ ଏହା ଏକ ଦୃଢ଼ବଦ୍ଧ ପଦାର୍ଥ ଅଟେ। ଯଦି ଏଥିରେ ଗୋଟିଏ ପଞ୍ଚମ କଣିକା ଯୋଗ କରାଯାଏ, ଏହା ନିଶ୍ଚୟ ଅନ୍ୟ ଏକ ଅବସ୍ଥାରେ ରହିବ ଏବଂ ଏହି କଣିକା ଓ ପ୍ରଥମ ପ୍ରକାର ସମଧର୍ମୀ କଣିକାର ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ବିନିମୟ ଦୃଷ୍ଟିରୁ ଅସାମଞ୍ଜସ୍ୟୀ ହେବ। ଅନ୍ୟ ତିନୋଟି କଣିକା ସଙ୍ଗେ ବିନିମୟ ଯୋଗୁଁ ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ଦେବ, ତାହା ଆଂଶିକ ଭାବରେ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟୀ ଓ ଆଂଶିକ ଭାବରେ ଅସାମଞ୍ଜସ୍ୟୀ। ଅସାମଞ୍ଜସ୍ୟୀ ଯୁଗଳଗୁଡ଼ିକ ବିକର୍ଷଣ ବଳ ଦେଖାଉଥିବାରୁ ମୋଟ ଫଳ ହେଲା ଯେ, ପଞ୍ଚ-ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟନ ମଣ୍ଡଳ ୪ କଣିକା ତୁଳନାରେ ଅଳ୍ପ ଦୃଢ଼ ଭାବରେ ବାନ୍ଧି ହେବ (Li^5 ଓ He^5 ବାସ୍ତବରେ ବାନ୍ଧି ହୁଅନ୍ତି ନାହିଁ ଓ ପ୍ରକୃତିରେ ମିଳନ୍ତି ନାହିଁ)। ଅଧିକ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟନସବୁ ଯୋଗ କଲାବେଳେ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟୀ ଓ ଅସାମଞ୍ଜସ୍ୟୀ ଉଭୟ ପ୍ରକାରର ଯୁଗଳମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ବଢ଼ି ଚାଲେ ଏବଂ ସୁବିଧାନୁସାରେ ବିକର୍ଷଣ ଓ ଆକର୍ଷଣ ବଳମାନଙ୍କର ସମୋଦଣକୁ ସଜାଡ଼ି ନେଇ ପ୍ରତି ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟନ ପାଇଁ ବନ୍ଧନଶକ୍ତି ଓ ଘନତ୍ୱ A ପ୍ରତି ଅନୁପାତୀ ହେବା ଘଟଣାଟିକୁ ବୁଝାଇ ଦେଇ ହେବ। ଅଧିକ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ନ୍ୟୁଟ୍ରନ ଓ ପ୍ରୋଟନର (350 ମି. ଇ. ଭୋ. ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ)

ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ମଧ୍ୟରେ କଣ୍ଟୁରଣ ଶକ୍ତିମଧ୍ୟ ବଳର ଉପସ୍ଥିତି ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଦୃଢ଼ ପ୍ରମାଣ ଦିଏ । ତେବେ ଅସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାରେ ମିଳୁଥିବା ଆକର୍ଷଣ ପରିମାଣ କୃତ୍ରି ଜୁଟାଇବା ପାଇଁ ଯଥେଷ୍ଟ ନୁହେଁ ଅତି ସାମାନ୍ୟ ମାତ୍ର । ତେଣୁ ଏଥିପାଇଁ ଅନ୍ୟ ଉପାୟ ବ୍ୟବହାର କରିବାକୁ ହେବ ।

(ଡ) ନିଉକ୍ଲିୟସ୍ର ବିଭବ :

ଯଦିଓ ଗୋଟିଏ ପ୍ରକୃତ ନଉକ୍ଲିୟସ ମଧ୍ୟରେ ନଉକ୍ଲିୟନମାନଙ୍କର ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାର ପୁଙ୍ଖାନୁପୁଙ୍ଖ ଆଲୋଚନା ଅତି ଜଟିଳ, ତଥାପି ଗୋଟିଏ 'ଗଡ଼' ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟନ ଓ ଅବଶିଷ୍ଟ ନଉକ୍ଲିୟସ ମଧ୍ୟସ୍ଥ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାକୁ ପ୍ରକାଶ କରିବାପାଇଁ ଏକ ଅପେକ୍ଷାକୃତ ସରଳ ବିଭବରୂପ ନେବା ସମ୍ଭବ ଓ ଆବଶ୍ୟକ । ଡ୍ୟୁଟେରନ ସମସ୍ୟାରେ ନଅଲା ଏବା ସ୍ଥୂଳ ବର୍ଗକୂପ (ଚିତ୍ର ୨୫·୪) ଗୋଟିଏ ଗଡ଼ ନଉଟ୍ରନର ଅବସ୍ଥା ପ୍ରକାଶ କରିପାରିବ । ଗୋଟିଏ ମଝାମଝି ଗୁରୁ ନଉକ୍ଲିୟସ ପାଇଁ ବନ୍ଧନଶକ୍ତି ପ୍ରାୟ 8 ମି. ଇ. ଭୋ. ଏବଂ ଗଭୀରତା ହେଲା 10ରୁ 15 ମି. ଇ. ଭୋ. । ଅତି ଶିଥିଳଭାବରେ ବନ୍ଧା ହୋଇଥିବା ନଉଟ୍ରନ ପାଇଁ ନଉକ୍ଲିୟସ ବିଭବ ଗୋଟିଏ ନଉକ୍ଲିୟସରୁ ଆର ନଉକ୍ଲିୟସକୁ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୁଏ । ଶେଷ ନଉଟ୍ରନର ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତି (ବା ଅପସରଣ ଶକ୍ତି) ସ୍ଥାୟୀ ନଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କରେ 6 ଏବଂ 8 ମି. ଇ. ଭୋ. ମଧ୍ୟରେ ବଦଳେ ।

ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନରେ କାମ କରୁଥିବା ବିଭବ ମଧ୍ୟରେ ନଉକ୍ଲିୟସ ମଧ୍ୟସ୍ଥ ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ପ୍ରୋଟନମାନଙ୍କର ବିକର୍ଷଣଜାତ ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ପ୍ରଭାବ ସ୍ଥାନ ପାଇବା ଦରକାର । ଶେଷ ଆବଦ୍ଧ ପ୍ରୋଟନ ପାଇଁ ନଉକ୍ଲିୟସର ପୃଷ୍ଠଦେଶର ବାହାରେ ସ୍ଥିର-ବୈଦ୍ୟୁତିକ ବିଭବର ଆକାର ହେଲା $(Z-1)e^2/4\pi\epsilon_0 r$ । ନଉକ୍ଲିୟସ ଭିତରେ ଚାର୍ଜ ବାଣ୍ଟି ହୋଇ ରହିଥିବାରୁ ଏହି ବିଭବର ପରିବର୍ତ୍ତନ ଘଟିବ ଏବଂ ସେଠାରେ ନଉକ୍ଲିୟସର ବିଭବ ସହିତ ଯୋଗ (ବୀଜଗାଣିତିକ ନିୟମାନୁସାରେ) ହେବା ଭଳି ଧ୍ରୁବାଙ୍କ ହୋଇପାରେ ।

ଗୋଟିଏ R ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ଗୋଲକରେ Ze ଚାର୍ଜ ସମଭାବରେ ବାଣ୍ଟି ହୋଇ ରହିବ ପାଇଁ ଯେତେ କାର୍ଯ୍ୟ ଦରକାର ହୁଏ, ନଉକ୍ଲିୟସଟିର ମୋଟ ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ ଶକ୍ତି

ସୂଚିତ ହୋଇପାରେ । ଏହି କୁଲମ୍ବ ସ୍ଥିତିଜ ଶକ୍ତି ହେଲା,

$$P_c = \frac{3}{5}\frac{(Ze)^2}{4\pi\epsilon_0 R} \qquad (୨୫'୯୨)$$

Z ପ୍ରୋଟନଙ୍କର ପାରସ୍ପରିକ ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ ଶକ୍ତି ବିଷୟରେ ବିଚାର କରି ଅନ୍ୟ ଏକ ପ୍ରକାରରେ ହିସାବ କଲେ, ମିଳେ

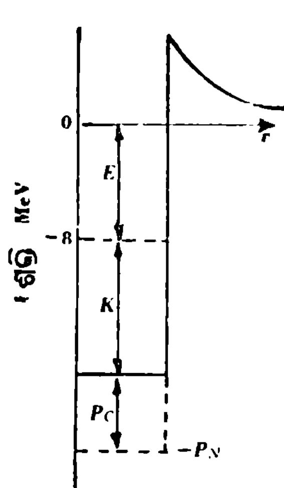
$$P_c = \frac{3}{5}\frac{Z(Z-1)e^2}{4\pi\epsilon_0 R} \simeq 0{\cdot}61\frac{Z(Z-1)}{A^{\frac{1}{3}}} \text{ ମି. ଇ. ଭୋ.} \qquad (୨୫'୯୮)$$

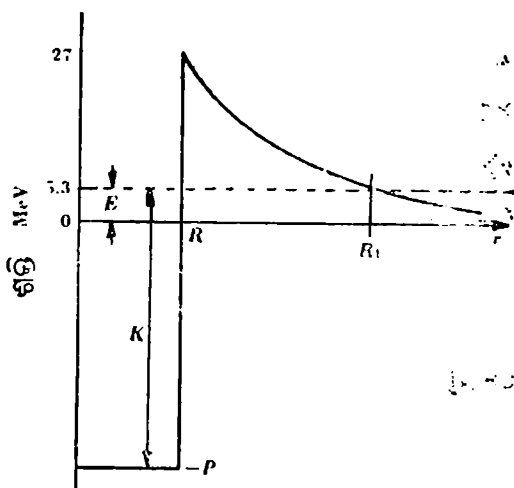
ଗୋଟିଏ ମଝାମଝି ବା ଗୁରୁ ନିଉକ୍ଲିୟସରେ ଶେଷ ପ୍ରୋଟନର ଅବସ୍ଥା ଚିତ୍ର ୨୫'୨୯ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଏଠାରେ E ପୁଣି ସେହି ପ୍ରାୟ 8 ମି. ଇ. ଭୋ. ନିଆଯାଇଅଛି । ଗୁରୁ ନିଉକ୍ଲିଡଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରୋଟନ ଅପେକ୍ଷା ଅଧିକ ସଂଖ୍ୟକ ନିଉଟ୍ରନ ଧାରଣ କରନ୍ତି । ଏଥିରେ ବିଭବର ଯେଉଁ ଅଂଶ କେବଳ ନିଉକ୍ଲିୟର ବଳ ପାଇଁ ସେଥିରେ ମଧ୍ୟ (ଚିତ୍ରରେ P_N) ପ୍ରୋଟନ ଓ ନିଉଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ତାରତମ୍ୟ ରହିଅଛି । ଗୁରୁ ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର ପ୍ରୋଟନମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା କମ ଥିବାରୁ ପ୍ରତି କଣିକା ପାଇଁ ଅଧିକ ସମମିତୀୟ ବନ୍ଧନ ହୋଇଥାଏ ଏବଂ ସେହି କାରଣରୁ ପ୍ରୋଟନକୁ ତଳରେ ନିଉକ୍ଲିୟର ବଳ ପାଇଁ ଗଭୀରତର କୂପର କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହୋଇଥାଏ । ଫଳରେ ପ୍ରୋଟନ ଓ ନିଉଟ୍ରନ ଉଭୟ ପାଇଁ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ବନ୍ଧନଶକ୍ତି ପ୍ରାୟ ସମାନ ହୋଇଥାଏ ।

(ଚ) ନିଉକ୍ଲିୟର ଅବରୋଧ :

ଚିତ୍ର ୨୫'୨୯ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଥିବା ଚିତ୍ର ସାହାଯ୍ୟରେ ∝ କଣିକା ଘର କେତେକ ଜଟିଳ ସମସ୍ୟାର ନିଉକ୍ଲିୟସର ଅବଶିଷ୍ଟାଂଶ ସହିତ ବନ୍ଧନ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରେ । ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଭାବରେ କହିଲେ, ଏହିପରି ପ୍ରକାଶ କରିବାଦ୍ୱାରା ∝ ବିନାଶ ବୁଝି ହେବ । ନିଉକ୍ଲିୟସଗୁଡ଼ିକୁ (ଉଦାହରଣସ୍ୱରୂପ $_{84}Po^{210}$ ନିଅ) ଯେଉଁ ଶକ୍ତି ସମ୍ବନ୍ଧଗୁଡ଼ିକ ଲଗୁ ହେବ, ଚିତ୍ର ୨୫.୭୩ରେ ତାହା ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଏଥିରୁ 5·3ମି. ଇ. ଭୋ. ∝ କଣିକା ବହିର୍ଗତ ହେଉଥିବାରୁ, ନିଷ୍କାସିତ ହେବା ପୂର୍ବରୁ ଁ∝ 'କଣିକାଟି' ଗତିଜ ଓ ସ୍ଥିତିଜଶକ୍ତି ମିଶି ମୋଟ ଶକ୍ତି 5.3 ମି. ଇ. ଭୋ. ଥିଲା 'ବୋଲି ସ୍ପଷ୍ଟ ଜଣାପଡ଼ୁଛି (ଅପସରଣ

ଶକ୍ତି ପାଇଁ ସାମାନ୍ୟ ସଂଶୋଧନ ଏଠାରେ ଉପେକ୍ଷା କରାଯାଇଅଛି) । ଛୁଟ ରେଖା ସାହାଯ୍ୟରେ ଉପରେ ଏହି ରେଖା ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ମଧ୍ୟରେ ବର୍ଦ୍ଧିତ ବିଯୁକ୍ତ ଅଛି ଏବଂ ତେଣୁ ଆମେ ଅନୁମାନ କରିପାରିବା ଯେ: ଗତିଜଶକ୍ତି ଅତ୍ୟନ୍ତ ଅଧିକ





[ଚିତ୍ର ୧୬.୬ (a) ଗୋଟିଏ ମଧ୍ୟମଣି ବା ଗୁରୁ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସରେ ଶିଥିଳତମ ଭାବରେ ବନ୍ଧା ହୋଇଥିବା ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନ ପାଇଁ (b) P^{210}ରେ ଶିଥିଳତମ ଭାବରେ ବନ୍ଧାହୋଇଥିବା α କଣିକା ପାଇଁ ସ୍ଥିତିଜଶକ୍ତି ଫଳନସବୁ]

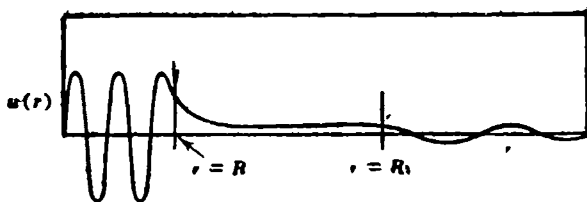
ହୋଇଥିବ । ତାହାରେ ଶୂନ୍ୟ ବିଭବଯୁକ୍ତ ସ୍ଥାନକୁ ଶେଷରେ α କଣିକାଟି ଖସିଯିବା ପରେ ଯେତେ ଗତିଜ ଶକ୍ତି ଲାଭ କରିବ, ତା'ର ବହୁଗୁଣ । ତେବେ, ଏହି ଦୁଇ ଅବସ୍ଥାର ମଝିରେ ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ ବିଭବ ହେବ,

$$P_0 = \frac{Z_1 Z_2 e^2}{4\pi \epsilon_0 r}$$

ଏଠାରେ $Z_1 = 2$ ଏବଂ $Z_2 = 82$ । ସମୀକରଣ (୧୬.୪) ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ R ରେ ଯଦି ଆମେ ବ୍ୟବହାର କରିବା, ତେବେ ଆମେ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ଧାରରେ ଠିକ୍

ବାହାରେ ପ୍ରାପ୍ତ 27 ମି. ଇ. ଭୋ. କରିବ ପାଇ ପାରିବ । ତେଣୁ ପୁରାତନ ଭୌତିକ ବିଜ୍ଞାନ ଅନୁସାରେ R ଠାରୁ ଏହାଠାରୁ ଅଧିକ R_1 ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଅଞ୍ଚଳରେ (R_1ଠାରେ ସ୍ଥିତିଶକ୍ତି 5·3 ମି. ଇ. ଭୋ କୁ କମି ଆସିଛି) ପତନ ଶକ୍ତି ବିଯୁକ୍ତ ହୋଇଅଛି ଏବଂ ସେଥିପାଇଁ ଏ ଅଞ୍ଚଳରେ α କଣିକା ମିଳିବନାହିଁ । କିନ୍ତୁ କ୍ୱାଣ୍ଟମଯାନ୍ତ୍ରିକ ଅନୁସାରେ ଏହି ଅଞ୍ଚଳକୁ ଭେଦ କରିବାପାଇଁ ଏକ ସସୀମ ସମ୍ଭାବନା ରହିଅଛି । ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ଆକାରରେ ଚିତ୍ର ୨୫·୭ ପରି ହେବ, ନିଉକ୍ଲିୟସ ମଧ୍ୟରେ ଏହାର ଗୁଣ ଶୀଘ୍ର ଦୋଳନ, ଅବରୋଧ ଅଞ୍ଚଳରେ ଏକ୍ସପୋନେନସିଏଲ ଭାବରେ ନିମ୍ନଗାମୀ ଫଳନ ସହିତ ଯୋଗ ହେବ ଏବଂ $r>R_1$ ପାଇଁ ସ୍ୱଳ୍ପ ବିସ୍ତାରବିଶିଷ୍ଟ ସାଇନ ଫଳନ ପରି ହେବ । ବାହାର ଫ୍ଲକ୍ସ ସହିତ ଭିତର ଫ୍ଲକ୍ସର ଅନୁପାତ α କଣିକାର ପଳାୟନ ସମ୍ଭାବନାର ଏକ ପରିମାପ ଏବଂ ସେହି କାରଣରୁ ବିଘଟନ ଧ୍ରୁବାଙ୍କର ମଧ୍ୟ ପରିମାପ । 1929 ମସିହାରେ ପ୍ରଥମେ ଗାମୋ ଓ ପରେ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଭାବରେ ଗର୍ଣ୍ଣି ଓ କଣ୍ଡନ୍ ଏକ ସ୍ଥୂଳ ହିସାବ କରିଥିଲେ । ତାଙ୍କ ହିସାବରୁ ପଳାୟନ ସମ୍ଭାବନା ହେଲା,

$$P \simeq \exp\left[-\frac{2\sqrt{2M}}{\hbar}\int_{R}^{R_1}\sqrt{P(r)-E}\,dr\right] \qquad (୨୫.୧୯)$$



[ଚିତ୍ର ୨୫·୭ ଚିତ୍ର ୨୫·୬bର ନିଉକ୍ଲିୟସର ଅବରୋଧ ଭେଦ କରି α କଣିକା ପଳାୟନ କରିବାର ତରଙ୍ଗ ଫଳନର ଗୁଣାତ୍ମକ ଆକାର]

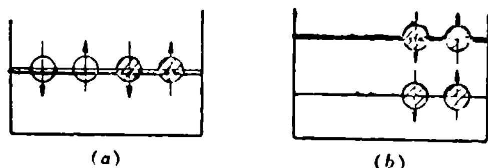
ସମ୍ଭାବନାର ଏହି ଫଳନ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ Rର ଏକ ଚପଳ ଫଳନ । ସୂତ୍ରରୁ ମିଳୁଥିବା ଜୀବନକାଳ ସହିତ ଦର α ବିକିରଣକାରୀଙ୍କର ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ଜୀବନକାଳର ତୁଳନା କରି

Rର ମୂଲ୍ୟ ସ୍ଥିର କରି ହେବ । ଏହି ପ୍ରଣାଳୀରେ ମିଳୁଥିବା ମୂଲ୍ୟ ସବୁ ସମୀକରଣ (୨୫.୫) ସହିତ $R_0 = 1{\cdot}2$ to $1{\cdot}4 \times 10^{-15}$ ମି. ନେଲେ ସାଧାରଣ ଭାବରେ ମିଳିଯାଉଅଛି । ପଳାୟନ ସମ୍ଭାବନା ମଧ୍ୟ ଶକ୍ତି Eର ଅତ୍ୟନ୍ତ ଚପଳ ଫଳନ; ଉଦାହରଣସ୍ୱରୂପ, Po^{216} ଏବଂ Th^{232}ରୁ ନିର୍ଗତ ହେଉଥିବା α କଣିକାମାନଙ୍କର ଶକ୍ତିର ବ୍ୟବଧାନ ଏକ କୋଟିକ 2 ଠାରୁ କମ୍ ହୋଇଥିଲେ ମଧ୍ୟ ସେମାନଙ୍କର ଅର୍ଦ୍ଧଜୀବନରେ ବ୍ୟବଧାନ ପ୍ରାୟ 10^{20} ଗୁଣ ହେବ । ବହୁ ନଉକ୍ଲିୟସ ଘଟଣାରେ ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ ବଡ଼ ନିର୍ଣ୍ଣାୟକ ଭାବରେ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହୋଇଥାଏ ଏବଂ ଏଥିରୁ ନଉକ୍ଲିୟସ ବଳର ପ୍ରଭାବକୁ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର କରିଦେବା କଷ୍ଟକର ।

(ଛ) ସ୍ଥାୟୀ ନଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କରେ ନିଉଟ୍ରନ-ପ୍ରୋଟନ ଅନୁପାତ :

ନଉକ୍ଲିୟସ ବଳମାନଙ୍କର କ୍ଷୁଦ୍ର ଗୁଣ ସେମାନଙ୍କର ବନ୍ଧନସ୍ଥ ଗୁଣଦ୍ୱାରା ଅନ୍ତତଃ ଆଂଶିକ ଭାବରେ ବୁଝାଇ ଦିଆଯାଇପାରୁଅଛି । ଏହି ଅନୁମାନ ଫଳରେ ସ୍ଥାୟୀ ନଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର ବଣ୍ଟନ କେତେକ ସ୍ୱଭାବ ସରଳ ଭାବରେ ବୁଝି ହୋଇଯାଏ । ଯେଣୁ, N ଓ Z ଯେ ମୋଟାମୋଟି ସମାନ ହୋଇଥାଏ, ତାହା ତରଙ୍ଗ ଫଳନର ସ୍ଥାନୀୟ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ଉପରେ ନଉକ୍ଲିୟସ ବଳ ଅଧିମାତ୍ରାରେ ନିର୍ଭରଶୀଳ ହୋଇଥିବାରୁ ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ବୁଝି ହୋଇଯାଏ । ଆମର ପୂର୍ବ ଯୁକ୍ତିକୁ ମନେ ପକାଇଲେ, ଚାରିଗୋଟି ବନ୍ଧନ ନଉକ୍ଲିୟନ (ସେମାନଙ୍କର ସ୍ପିନ୍ ବା ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଦିଗରେ ପ୍ରଭେଦ ଅନୁସାରେ) ଗୋଟିଏ n, l, m_l ସ୍ତରରେ (ଚିତ୍ର ୨୫.୮କ) ରହି ପାରନ୍ତି ଓ ସେଠାରେ ପରସ୍ପରକୁ ଅଧିକ ଜୋରରେ ଟାଣିବେ । ଅନ୍ୟପକ୍ଷରେ, ଯଦି ଚାରିଗୋଟି ପ୍ରୋଟନ ନେଇ ଆମେ ଗୋଟିଏ ନଉକ୍ଲିୟସ ଗଢ଼ିବାକୁ ଚେଷ୍ଟା କରିବା, ଦୁଇଟିକୁ ଅନ୍ୟ ଏକ୍ସାଇଟ୍ ସ୍ତରରେ ରଖିବାକୁ ହେବ (ଚିତ୍ର ୨୫.୮ଖ) ଏବଂ ଆକର୍ଷଣକାରୀ ବନ୍ଧନର ମୋଟ ସଂଖ୍ୟା କମିଯିବ, ଯେଣୁ ଏହି ମଣ୍ଡଳଟି ଅଳ୍ପ ସ୍ଥାୟୀ ହେବ । ଅଧିକ ସଂଖ୍ୟକ ନଉକ୍ଲିୟନଙ୍କ ପାଇଁ ସେହି ଯୁକ୍ତିକୁ ପ୍ରସାରି କରି ହେବ । ଏଥିରୁ ଦେଖାଯିବ ଯେ, କେବଳ ନଉକ୍ଲିୟସ ବଳଗୁଡ଼ିକୁ ନେଇ ବିଚାର କଲେ, ଯେଉଁ ନଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କରେ $N = Z$ ବା $N = Z \pm 2$, ସେଗୁଡ଼ିକ ସବୁଠାରୁ ଅଧିକ ସ୍ଥାୟୀ । କଣିକାମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ପ୍ରୋଟନମାନଙ୍କର ପାରସ୍ପରିକ ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ ବିକର୍ଷଣ ଅନୁଭୂତ ହେବ; ଯେଣୁ ପ୍ରୋଟନଗୁଡ଼ିକ ଯେଉଁ ଢଙ୍ଗରେ ରହିଛନ୍ତି, ତାହା ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟଭାବେ କମିଯିବ । ଏହା ଫଳରେ ପ୍ରୋଟନ ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ

ନିଉଟ୍ରନ ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକଠାରୁ ଅଲଗା ହୋଇଯିବ; ଚିତ୍ର ୨୫·୯ରେ ଏହା ସୂଚିତ ହୋଇଛି । ତେଣୁ କେତୋଟି ଅଧିକା ନିଉଟ୍ରନ ଯୋଗ ହେଲେ ସୁବିଧା ହେବ । ସେଥିପାଇଁ 28 ପ୍ରୋଟନ ଓ 32 ନିଉଟ୍ରନ ଥାଇ $_{28}Ni^{60}$, $_{30}Zn^{60}$ ତୁଳନାରେ ଅଧିକ ସ୍ଥାୟୀ । ସ୍ଥିର-ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଶକ୍ତି ସ୍ଥୂଳତଃ Z^2 ଅନୁସାରେ ବଢ଼ୁଥିବାରୁ Z ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଏହି ପ୍ରଭାବ ଅଧିକ କ୍ରିୟାଶୀଳ ହେବ । ତେଣୁ ଅଧିକ Z ପାଇଁ କେବଳ ପ୍ରୋଟନ ସଂଖ୍ୟା

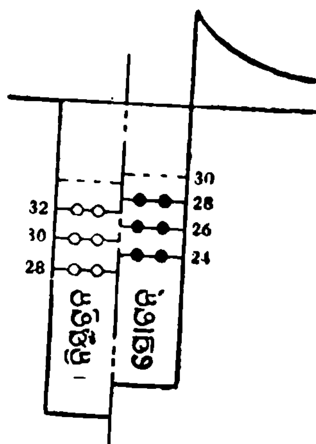


[ଚିତ୍ର ୨୫·୮ (a) ଦୁଇଟି ନିଉଟ୍ରନ ଓ ଦୁଇଟି ପ୍ରୋଟନଙ୍କ ସ୍ତର
(b) ଯୁଗ୍ମଟି ପ୍ରୋଟନଙ୍କ ସ୍ତର ନିଉକ୍ଲିୟସ ଦ୍ୱାଷ୍ମ ଅବସ୍ଥାରେ ରହିଛି]

ତୁଳନାରେ ନିଉଟ୍ରନ ସଂଖ୍ୟା ଅଧିକ ହେବ, ତାହାହେଁ ଦୃଢ଼ କରିବା ପାଇଁ ବଡ଼ ବନ୍ଧନଶକ୍ତି ମଧ୍ୟ ଲୋଡ଼ିବ ।

ଚିତ୍ର ୨୫·୯ ପରି ଚିତ୍ରମାନଙ୍କ ବିଷୟରେ ଏଠାରେ ପଦେ ସତର୍କ କରିଦେବା ଦରକାର । ନିଉକ୍ଲିୟନମାନଙ୍କ ସ୍ତର ବିଭବ ସ୍ପଷ୍ଟ ହୋଇଥିବାରୁ ନିଉକ୍ଲିୟସ ସବୁ ଯୋଗ କରିବାଦ୍ୱାରା ବା କାଢ଼ିନେବାଦ୍ୱାରା ବିଭବ ଫଳନର ଆକାରରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହେବ; ତେଣୁ ଏତ ସିଧାଳଖରେ ବନ୍ଧ ଥିବା ନିଉକ୍ଲିୟନମାନଙ୍କ ବାସ୍ତବ ଅନୁଗୁଡ଼ିକ ଦେଖାଉଥିବା ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକର କୌଣସି ମୂଲ୍ୟ ନାହିଁ ! ଚିତ୍ର କେବଳ ଗୁଣାତ୍ମକଭାବରେ ଗୋଟିଏ ବା ଦୁଇଟି ନିଉକ୍ଲିୟନ ଯୋଗ ବା ନିଷ୍କାସନ କରିବାର ଫଳ ବା ଗୋଟିଏ ନିଉକ୍ଲିୟନକୁ ଗୋଟିଏ ସ୍ତରରୁ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ସ୍ତରକୁ ନେବାର ଫଳ ଦେଖାଉଥାଏ, ସେଥିରେ ମଧ୍ୟ ଚିତ୍ର ସୂଚାଉଥିବା ମୋଟ ଶକ୍ତିର ପରିବର୍ତ୍ତନ ପରିମାଣ ପ୍ରକୃତ ପରିବର୍ତ୍ତନଠାରୁ ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଭିନ୍ନ ହୋଇପାରେ ।

ସ୍ଥାୟୀ ନିଉକ୍ଲିୟସ୍‌ମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଯୁଗ୍ମ N (N = A − Z, ନିଉଟ୍ରନ ସଂଖ୍ୟା) ଓ ଯୁଗ୍ମ Z ପ୍ରତି ବହୁତ ଆଗ୍ରହ ଥିବାର ଆମେ ଦେଖିଥାଉଁ; ଅଯୁଗ୍ମ N ଓ ଅଯୁଗ୍ମ Z ପ୍ରତି ସେମାନଙ୍କର ସେପରି ଆଗ୍ରହ ନାହିଁ । ଅଯୁଗ୍ମ Z ଓ ଯୁଗ୍ମ N ଏବଂ ଯୁଗ୍ମ Z ଓ ଅଯୁଗ୍ମ Nର ନିଉକ୍ଲିୟସ ସବୁ ପ୍ରାୟ ସମସଂଖ୍ୟାରେ ମିଳିଥାଏ । ପ୍ରୋଟନ ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକର ନିଉଟ୍ରନ ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ତୁଳନାରେ ବିସ୍ଥାପନକୁ ନେଇ ଏଗୁଡ଼ିକ ବୁଝାଯାଇପାରିବ । ଉଦାହରଣ-ସ୍ୱରୂପ, $_{28}Ni^{60}$ରେ ପ୍ରତ୍ୟେକରେ ଦୁଇଟି ଲେଖାଏଁ ଥାଇ (ବିପରୀତ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସହ) 14ଟି ପୂର୍ଣ୍ଣ ପ୍ରୋଟନ ସ୍ତର ରହିଅଛି ଏବଂ 16ଟି ପୂର୍ଣ୍ଣ ନିଉଟ୍ରନ ସ୍ତର ରହିଅଛି । ଯଦି ଏଥିରେ ଆଉ ଗୋଟିଏ କଣିକା ଯୋଗ କରାଯାଏ, ଏହା ଗୋଟିଏ ଶୂନ୍ୟ ସ୍ତରକୁ ଯିବ ଏବଂ ଏଥିପାଇଁ ମିଳୁଥିବା ପର ସ୍ତରଟି ନିଉଟ୍ରନ ସ୍ତର ହେବାର ଅଧିକ ସମ୍ଭାବନା ରହିଅଛି । ତେଣୁ ମୋଟ କଣିକା ସଂଖ୍ୟା A ଅଯୁଗ୍ମ ହୋଇଥିବା ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ପ୍ରାୟ ଅଧାକରେ ଅଯୁଗ୍ମ N ଓ ପ୍ରାୟ ଅଧାକରେ ଅଯୁଗ୍ମ Z ହେବା ଆଶା କରାଯିବ । Ni^{60}ରେ ମିଳୁଥିବା ପର ସ୍ତରଟି ନିଉଟ୍ରନ ସ୍ତର, Ni^{61} ଏହି ସ୍ତର । ଯଦି ଏଥିରେ ଆଉ ଗୋଟିଏ କଣିକା ଯୋଗ କରାଯାଏ, ଆଉ ଗୋଟିଏ ନିଉଟ୍ରନ ଯୋଗ କରିବା ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନ ଯୋଗ କରିବା ଅପେକ୍ଷା ଅଧିକ ସୁବିଧାଜନକ ହେବ; କାରଣ ନିଉଟ୍ରନ ସ୍ତରଟି



[ଚିତ୍ର ୨୫.୯ $_{28}Ni^{60}$ରେ ନିଉଟ୍ରନ ଓ ପ୍ରୋଟନ ସ୍ତରସବୁ କେବଳ ଉପରମ ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ଦେଖାଯାଇଛି]

କମ୍ପରେ ଏବଂ ସେଥିରେ ଦୁଇଟି କଣିକାଙ୍କ ପାଇଁ ସ୍ଥାନ ରହିଛି । ତେଣୁ $_{28}Ni^{61}$, $_{29}Cn^{63}$ ତୁଳନାରେ ଅଧିକ ସ୍ଥାୟୀ; ପ୍ରକୃତରେ Cn^{62} ଡେଜନ୍ତ୍ରିସ୍ ଏବଂ ବିନାଶ ହୋଇ Ni^{62} ସୃଷ୍ଟି କରେ । ଯୋଡ଼ ପ୍ରୋଟନ ସ୍ତର ଅଧିକ ସ୍ଥାୟୀ ହୋଇଥାଏ, ଅର୍ଥାତ୍ ଯୋଡ଼ Cn^{61}, Ni^{61}ଠାରୁ ଅଧିକ ସ୍ଥାୟୀ ହୋଇଥାଏ, ତେବେ ଦ୍ୱିତୀୟ କଣିକାଟି ପ୍ରୋଟନ ହେବା ଅଧିକ ସୁବିଧାଜନକ ହୋଇଥାଏ । $_{30}Zn^{62}$ ଠିଆର ହୋଇଥାଏ । ଏ ଦୁଇଟିରୁ ଜେତୋଣସିରେ ଯୁଗ୍ମ N ଓ ଯୁଗ୍ମ Z ସମାବେଶ ପାଇଁ ଅଧିକ ଆଗ୍ରହ ହେଉଛି, ଅଯୁଗ୍ମ N ଓ ଅଯୁଗ୍ମ Z ପାଇଁ ଆଗ୍ରହ ରହୁନାହିଁ । ମଝାମଝି ଓ ଗୁରୁ ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କରେ ପ୍ରତ୍ୟେକଟି ଅସ୍ଥାୟୀ ହୋଇ ପୂର୍ବୋକ୍ତ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଉତ୍ପାଦନ କରୁଅଛି । ଲଘୁ ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ କେତେକ ଅଯୁଗ୍ମ N, ଅଯୁଗ୍ମ Z ନିଉକ୍ଲିୟସ ରହିଅଛି; ଏ ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକରେ ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ ପ୍ରଭାବ ଅନ୍ୟ ପ୍ରଭାବ ତୁଳନାରେ ପ୍ରଧାନ ନୁହେ ଏବଂ ବଳ ସାମାନ୍ୟ ପରିମାଣରେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରୁଥିବାରୁ ସମାନ N ଓ Z ଅପେକ୍ଷା ଏହା ଅଧିକ ସୁବିଧାଜନକ ହୋଇଛି ।

ଆମେ ଏହିପରି ପ୍ରକୃତରେ ମିଳୁଥିବା ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର ପ୍ରଧାନ ପ୍ରଧାନ ଗୁଣଗୁଡ଼ିକ ବୁଝି ପାରିଥାଉ । ବନ୍ଧୁତ୍ୱ, ସ୍ପିନ୍ ଏବଂ ଆକାର । ଏଥିପାଇଁ ନିଉକ୍ଲିୟସର ବଳ ପାଇଁ ଆମେ କେବଳ କେତେକ ସାଧାରଣ ଅନୁମାନ ନେଇଥାଉ । ଆମେ ଅନୁମାନ କରିଥାଉ ଯେ, ବଳ କେବଳ ଅଳ୍ପ ପରିସର ମଧ୍ୟରେ କାର୍ଯ୍ୟ କରିଥାଏ, ତାହା ନିଉଟ୍ରନ ଓ ପ୍ରୋଟନ ଉପରେ ମୋଟାମୋଟି ସମାନ ପରିମାଣରେ କାମ କରିଥାଏ ଏବଂ ତାହା ତରଙ୍ଗ ଫଳନର ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ଉପରେ ବହୁ ପରିମାଣରେ ନିର୍ଭରଶୀଳ । ଅନ୍ୟ ପକ୍ଷରେ, ଶେଷ ଅନୁମାନର କେତେକ ବିକଳ୍ପ ଅନୁମାନ ଅଛି ବୋଲି ଆମେ ଦେଖିଥାଉଁ ଏବଂ ଏହି ଅନୁମାନଟି ଯଥେଷ୍ଟ ବା ଅତ୍ୟାବଶ୍ୟକ ବୋଲି ସ୍ପଷ୍ଟ ହେଉନାହିଁ ।

ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର ଗଠନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଏଥି ପୂର୍ବରୁ ଅଳ୍ପ କିଛି ଅନୁମାନ କରାଯାଇଛି ମାତ୍ର । ଆମେ ଯେଉଁ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ବ୍ୟବହାର କରିଥାଉଁ, ସେଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରକୃତରେ ବ୍ୟକ୍ତିବିଶେଷ ନିଉକ୍ଲିୟନମାନଙ୍କର ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଗତି ବୁଝାଉଛି ବା ଗତି ସବୁ ଏପରି ଜୋର୍‌ରେ ବିକୃତ ହୋଇ ଯାଇଛନ୍ତି ଯେ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ସମସ୍ତ ନିଉକ୍ଲିୟସଟିର ଏକପ୍ରକାର ସମୂହ ଗତିକୁ ବୁଝାଉଛି । ତାହା ଉକ୍ତ ଯୁକ୍ତିଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ ଅତ୍ୟାବଶ୍ୟକ

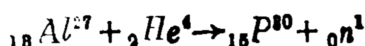
ନୁହେଁ । ନିଉକ୍ଲିୟସର ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ମଡେଲ ସୃଷ୍ଟିକରିବା ଭଳି ପରୀକ୍ଷା ସବୁ ପର ଅନୁଚ୍ଛେଦ-ମାନଙ୍କରେ ଆମେ ଆଲୋଚନା କରିବା ।

ପଜିଟ୍ରନ, କୃତ୍ରିମ ତେଜସ୍କ୍ରିୟତା, କୃତ୍ରିମ ଉତ୍ପାଦିତ କଣିକା

25·7 ସଞ୍ଚାରିତ ତେଜସ୍କ୍ରିୟତା :

1930 ମସିହାରେ ବେକର ଓ ବଥେ *Be* କୁ α କଣିକାଦ୍ୱାରା ଆଘାତ କଲେ ଏବଂ 4·5 ଅ. ଇ. ଭୋ. ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ବ୍ୟାପିଥିବା ବିଭିନ୍ନ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କର ଏକ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ସେମାନେ ରିପୋର୍ଟ କରିଥିଲେ । ଏହା ପ୍ରାୟ ସେହି ଶକ୍ତିବିଶିଷ୍ଟ γ ରଶ୍ମିରୁ ହେଉଛି ବୋଲି ସେମାନେ କହିଥିଲେ । ଏହିକାର୍ଯ୍ୟକୁ ଆଗେଇ ନେବାପାଇଁ ଜୋଲିଏଟ୍ କ୍ୟୁରୀ ଦମ୍ପତି ଗୋଟିଏ ମେଘପ୍ରକୋଷ୍ଠରେ ଗୋଟିଏ ସୀସା ଫଳକ ଏବଂ ଗୋଟିଏ ପୋଲୋନିୟମ ବେରିଲିୟମ ଉତ୍ସ ନେଇ 1000 ଗାଉସ୍ର ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ର ସାହାଯ୍ୟରେ ବେରିଲିୟମ ବିକିରଣ ଦ୍ୱାରା ସୀସାରୁ ନିଷ୍କାସିତ ହେଉଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକୁ ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣ କରିବାକୁ ଚେଷ୍ଟା କଲେ । 1932 ମସିହାରେ ସେମାନେ ସୀସା ଫଳକ ଆଡ଼କୁ ଗତି କରୁଥିବା କେତେକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଦେଖିଲେ କାରଣ ସେମାନଙ୍କର ଗତିପଥ ବିପରୀତ ବକ୍ରଗାମୀ ଥିବା ପରି ମନେ ହେଲା (ବିକ୍ଷେପଣର ଦିଗ ଅବଶ୍ୟ ଚାର୍ଜର ଚିହ୍ନ ଓ ଗତିର ଦିଗ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିଥାଏ) । ଏହି ଗତିପଥଗୁଡ଼ିକ ପଜିଟ୍ରନ ପାଇଁ ହୋଇଥିଲା ବୋଲି ବର୍ତ୍ତମାନ ସ୍ପଷ୍ଟ ହୋଇଯାଇଛି । ପଜିଟ୍ରନର ଆବିଷ୍କାରର ପ୍ରଚାର ହେବାପରେ, α କଣିକାମାନଙ୍କର *Be* ରେ ଆଘାତ ଦ୍ୱାରା ଉତ୍ପାଦିତ ବିକିରଣ ଉପରେ ଅଧିକ କାର୍ଯ୍ୟ କରିଥିଲେ । ସେମାନେ ପ୍ରତିଷ୍ଠା କଲେ ଯେ ଶକ୍ତିଶାଳୀ (କଠିନ) ଗାମାରଶ୍ମି ସୀସା ମଧ୍ୟରେ ରୂପାନ୍ତରିତ ହୋଇ ଯୁଗ୍ମ କଣିକା ସବୁ ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଥିଲା । ସେହିପରି ଅନ୍ୟ ଏକ ପରୀକ୍ଷାରେ ଯେତେବେଳେ ବେରିଲିୟମ ବଦଳରେ ଆଲୁମିନିୟମ α କଣିକାମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଆଘାତପ୍ରାପ୍ତ ହୋଇଥିଲା, ସେମାନେ ପୁଣି ପଜିଟ୍ରନ ଦେଖି ପାରିଥିଲେ, କିନ୍ତୁ ଏଥର ଆଉ ତତ୍ସହ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଦେଖିଲେନାହିଁ । ପର ପରୀକ୍ଷାମାନଙ୍କରୁ ଦେଖାଗଲା ଯେ, ଏଠାରେ ପଜିଟ୍ରନ ରୂପାନ୍ତରଣରେ ସୃଷ୍ଟି ହୋଇ ନଥିଲା, ଆଲୁମିନିୟମ ଉତ୍ସରୁ ବାହାରୁଥିଲା । ଶେଷରେ, α କଣିକାମାନଙ୍କର ଶକ୍ତିରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ କଲେ କିପରି ପ୍ରଭାବ ପଡ଼ିବ ଦେଖିବାକୁ ଯାଇ ସେମାନେ ଦେଖିଲେ

ଯେ, ପୋଲୋନିୟମ ଉତ୍ସକୁ ଆଲୁମିନରେ ରଖିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ପଜିଟ୍ରନ ବାହାରୁନାହିଁ, କେତେମିନିଟ ମଧ୍ୟରେ କ୍ରମେ କ୍ରମେ ଗଢ଼ି ଉଠୁଛି । ଯେତେବେଳେ α କଣିକା ସବୁ ଘୁଞ୍ଚାଇ ଦିଆଯାଉଛି, ଏହି ଫଳ କ୍ରମେ କ୍ରମେ କେତେ ମିନିଟ ମଧ୍ୟରେ ଉଭେଇଯାଉଛି । ଏହି ପରୀକ୍ଷାଗୁଡ଼ିକର ଫଳରେ 1934 ମସିହାରେ ଜୋଲିଏଟ-କ୍ୟୁରୀ ସିଦ୍ଧାନ୍ତ କଲେ ଯେ, α କଣିକାମାନଙ୍କର ଆଘାତଦ୍ୱାରା ଉତ୍ପନ୍ନ ଏକ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ବସ୍ତୁ ଯୋଗୁଁ ଏହା ଘଟୁଛି । ଏହି ପ୍ରକ୍ରିୟାକୁ ସେମାନେ



$$_{13}Al^{27} + {}_2He^4 \rightarrow {}_{15}P^{30} + {}_0n^1$$

ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କଲେ । ଆଇସୋଟୋପ P^{30} ପ୍ରକୃତିରେ ମିଳେନାହିଁ । ସେମାନେ ଅନୁମାନ କଲେ ଯେ ଏହି ଆଇସୋଟୋପ ଆପେ ଆପେ ପଜିଟ୍ରନ ବିକିରଣ କରି ବିନାଶ ହୋଇଥାଏ । ଏହି ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ସିଲିକନର ଏକ ଜ୍ଞାତ ଆଇସୋଟୋପ ମିଳିଥାଏ । ଏହି ପ୍ରକ୍ରିୟାଟି ହେଲା,



$$_{15}P^{30} \rightarrow {}_{14}Si^{30} + \beta^+ + \gamma$$

ଏହାର ଅର୍ଦ୍ଧଜୀବନ ଥିଲା 3·25ମି. । ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ ଫସ୍‌ଫରସ୍‌ର ରାସାୟନିକ ଗୁଣ ଏହି ପଦାର୍ଥର ରାସାୟନିକ ଗୁଣ ସହ ସମାନ ବୋଲି ସେମାନେ ପର ପରୀକ୍ଷାମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଦେଖାଇଲେ । ତେଣୁ ଏହି ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ପଦାର୍ଥ ଫସ୍‌ଫରସ୍‌ର ଏକ ଆଇସୋଟୋପ ବୋଲି ସେମାନେ ପ୍ରତିଷ୍ଠା କଲେ ।

ସେହି ପରୀକ୍ଷାମାନଙ୍କରେ ଜୋଲିଏଟ-କ୍ୟୁରୀ ଦମ୍ପତି ଦେଖିଲେ ଯେ ବୋରନକୁ α କଣିକାମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଆଘାତ କଲେ ପ୍ରାୟ 14ମି. ଅର୍ଦ୍ଧଜୀବନ ବିଶିଷ୍ଟ ପଜିଟ୍ରନ ତେଜସ୍କ୍ରିୟତା ଉତ୍ପନ୍ନ ହେଉଛି । ଏହି ତେଜସ୍କ୍ରିୟତାକୁ ସେମାନେ ଗୋଟିଏ ନୂତନ ଆଇସୋଟୋପ ହେତୁ ସମ୍ପୃକ୍ତ କଲେ ଓ ଏହି ଆଇସୋଟୋପ ନିମ୍ନ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ଉତ୍ପନ୍ନ ହୋଇଥିଲା ।



$$_5B^{10} + {}_2He^4 \rightarrow {}_7N^{13} + {}_0n^1$$

ଏହା C^{13}କୁ ବିନାଶ ହେଉଥିଲା;



$$_7N^{13} \rightarrow {}_6C^{13} + \beta^+ + \nu$$

କୃତ୍ରିମ ଉପାୟରେ ଡ୍ୟୁଟେରନକୁ ତ୍ୱରାନ୍ୱିତ କରି କାର୍ବନକୁ ଆଘାତ କରିବାଦ୍ୱାରା ସେହି ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ଆଇସୋଟୋପ ଉତ୍ପାଦିତ ହୋଇପାରିବ ବୋଲି ସେମାନେ ପ୍ରସ୍ତାବ ଦେଲେ । ଏହି ପ୍ରକ୍ରିୟା ହେଲା,



$$_6C^{12} + {_1H^2} \rightarrow {_7N^{13}} + {_0n^1}$$

1934 ମସିହାରେ କ୍ରେନ ଓ ସି. ସି. ଲରିଟସେନ ଏହି ପ୍ରକ୍ରିୟା ସମ୍ପାଦନ କଲେ ।

ଏହି ପ୍ରାରମ୍ଭିକ ପରୀକ୍ଷାଗୁଡ଼ିକ ସମୟରୁ ବହୁ ଆଇସୋଟୋପ କୃତ୍ରିମ ଭାବରେ ଉତ୍ପାଦିତ ହେଲାଣି । ଏସବୁରେ ପ୍ରୋଟନ, ଡ୍ୟୁଟେରନ, ∝ କଣିକା, ନିଉଟ୍ରନ ଓ ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ନାନାପ୍ରକାର କଣିକାମାନଙ୍କ ଅଘାତଦ୍ୱାରା ପରୀକ୍ଷାରେ ବ୍ୟବହାର କରି 1200ରୁ ଅଧିକ ପଦାର୍ଥ ଉତ୍ପାଦନ କରାଯାଇଛି । ଏହି ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ଆଇସୋଟୋପଗୁଡ଼ିକ ପରମାଣୁ ତଥା ନିଉକ୍ଲିୟସ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଅନେକ ଜ୍ଞାନ ଦେବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ବ୍ୟବହାରିକ ଜଗତରେ ସେମାନଙ୍କର ବହୁ ଆବଶ୍ୟକତା ରହିଅଛି । ବିଶେଷଭାବରେ କହିଲେ ରାସାୟନିକ ଓ ଜୈବିକ ଗବେଷଣାମାନଙ୍କରେ ସେମାନଙ୍କ ଭାବରେ ଏହାର ବହୁ ବ୍ୟବହାର ହୁଏ । ଏହି ପ୍ରକାର କାର୍ଯ୍ୟମାନଙ୍କରେ ଯେ ଯୌଗିକ ପଦାର୍ଥର ଏକ ସାଧାରଣ ଉପାଦାନର ଗୋଟିଏ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ଆଇସୋଟୋପ ସହିତ ପୂର୍ବର ଯୌଗିକ ପଦାର୍ଥକୁ 'ଚିହ୍ନ' ଦିଆଯାଏ ଏବଂ ସେହି ଉପାଦାନଟିର ତେଜସ୍କ୍ରିୟତାରୁ ତାହା ବିଭିନ୍ନ ରାସାୟନିକ ପ୍ରକ୍ରିୟା ମଧ୍ୟରେ କିପରି ଗତି କରୁଛି ସହଜରେ ଜାଣି ହୋଇପାରେ । ଏହିପରି ଭାବରେ ରାସାୟନିକ ବିଶ୍ଳେଷଣରେ ଜଣା ନପଡୁଥିବା ବହୁ ପ୍ରକ୍ରିୟା ଜଣା ପଡ଼ିଥାଏ । ଯଥା ଗୋଟିଏ ପଦାର୍ଥ ଅଣୁରୁ ଅନ୍ୟ ଏକ ଅଣୁରେ ପରିଣତ ହେବାର ହାର ବା ଗୋଟିଏ ଜୀବ ମଧ୍ୟରେ ଏକ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ ବଦଳାଇ ଅନ୍ୟ ଏକ ପଦାର୍ଥ ଦ୍ୱାରା ସ୍ଥାନଚ୍ୟୁତ ହେବାର ହାର । ଜୀବ-ଜଗତରେ ଅନେକ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କର ସମସ୍ଥାନିକ ଆଇସୋଟୋପ ମିଳିଲାଣି । ଏଥିରୁ ଯେଉଁଗୁଡ଼ିକ ବିଶେଷଭାବେ ବ୍ୟବହୃତ ହୁଅନ୍ତି, ସେଗୁଡ଼ିକ ହେଲା C^{14} (ଏହାର ଅର୍ଦ୍ଧଜୀବନ 5400 ବର୍ଷ), P^{32} (30 ଦିନ), Na^{24} (14 ଘଣ୍ଟା) ଏବଂ S^{35} (87 ଦିନ) ।

25·8 କୃତ୍ରିମ ଭାବରେ ତ୍ୱରିତ କଣିକାମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ନିଉକ୍ଲିୟର ରୂପାନ୍ତରଣ :

ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ଉତ୍ସମାନଙ୍କରୁ ବାହାରୁଥିବା ∝ କଣିକାମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ସଂଘାତିତ ହୋଇ ରୂପାନ୍ତରଣ ଘଟିବା ଜଣାପଡ଼ିବାଠାରୁ ଯୁକ୍ତ ଅଣୁନିରୁଡ଼ିକୁ କୃତ୍ରିମ ଉପାୟରେ ତ୍ୱରାନ୍ୱିତ କରି ଏପରି ତେଜସ୍କ୍ରିୟତା ସୃଷ୍ଟି କରିବାର କଳ୍ପନାଜଳ୍ପନା ଚାଲିଥିଲା । ଏହା ଦ୍ୱାରା ଗୋଟିଏ ସୁବିଧା ହେବ ଯେ କଣିକାର ସଂଖ୍ୟା ବହୁତ ବଢ଼ିଯିବ, କାରଣ ଏପରିକି $1\mu A$ ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ ପ୍ରାୟ 6×10^{12} ଏକ ଚାର୍ଜଯୁକ୍ତ କଣିକା ମିଳିବ ବା 160 ଗ୍ରାମ୍ ରେଡ଼ିୟମରୁ ନିଃସୃତ ପୋଲୋନିୟମରୁ ବାହାରୁଥିବା ∝ କଣିକାମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ମିଳିବ । ମାତ୍ର ଚାର୍ଜିତ ମିଳୁଥିବା ଶକ୍ତିଯୁକ୍ତ କଣିକାମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ନିଉକ୍ଲିୟର ପ୍ରକ୍ରିୟା ସଂଘାରଣ କରିବାର ସମ୍ଭାବନା କୁଲମ୍ବ ଅବରୋଧ ଫଳରେ ଆଶାଜନକ ନ ଥିଲା । ଗୋଟିଏ ଚାର୍ଜ Z ଓ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଂଖ୍ୟା A ଯୁକ୍ତ ନିଉକ୍ଲିୟସର ଏକ ଚାର୍ଜଯୁକ୍ତ କଣିକ ପାଇଁ ଅବରୋଧ ହେବ,

$$P = \frac{Ze^2}{4\pi\in_0 R} \text{ ବା } P \propto \frac{Z}{A^{\frac{1}{3}}} \qquad \text{ମି. ଇ. ଭୋ. ।}$$

ତେଣୁ ଲଘୁତମ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କ ପାଇଁ ମଧ୍ୟ ଏହାର 2 ମି. ଭୋ. କେତୋଟିର ଦରକାର ହେବ ।

ଅବରୋଧ ଭେଦ କରି ପଡ଼ି ଉଠିବା ଫଳରେ ଅବରୋଧ ଉଚ୍ଚତାଠାରୁ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ପରିମାଣରେ କମ୍ ଶକ୍ତି ଥାଇ ମଧ୍ୟ ନିଉକ୍ଲିୟର ଘଟଣା ସବୁ ସମ୍ଭବ ହୋଇ ପାରେ ବୋଲି ମନେ ହେଲା । ତେଣୁ କାଭେଣ୍ଡିସ୍ ଲାବୋରେଟରୀରେ କକ୍‌ଫ୍ରଫ୍ଟ ଓ ୱାଲ୍‌ଟନ୍ ଗୋଟିଏ ତ୍ୱରଣ ଯନ୍ତ୍ର ମଣ୍ଡଳ ତିଆରି କରିବାକୁ ଚେଷ୍ଟା କଲେ । 1930 ମସିହାରେ ପ୍ରକାଶିତ ତାଙ୍କ ମଣ୍ଡଳରେ ଥିଲା । ଗୋଟିଏ ଟ୍ରାନ୍‌ସଫର୍ମର .ରେକ୍ଟିଫାୟର ଭୋଲ୍‌ଟେଜ ବର୍ଦ୍ଧ ଏବଂ ଗୋଟିଏ କାଚ ଡିସ୍‌ଚାର୍ଜ ନଳ । ଏହି ନଳ ମଧ୍ୟରୁ ଆୟନ ସବୁ ଓ୍ୱାଇନ ପ୍ରକାରର କେନାଲ ରଶ୍ମି ନଳରୁ ପୃଥକ ହୋଇଯାଉଥିଲା । ସେମାନେ ଏହି ଯନ୍ତ୍ର ସାହାଯ୍ୟରେ 300 କି.ଇ.ଭୋ.ର ପ୍ରୋଟନ ରଶ୍ମି ଗୁଚ୍ଛ ପାଇପାରିଲେ ଏବଂ γ ରଶ୍ମି ବିକିରଣ ଜାତ ହେଉଥିବା ପ୍ରକ୍ରିୟାକୁ ଦେଖିବାପାଇଁ ଅଳ୍ପ ସମୟ ପାଇଁ ଚେଷ୍ଟା କରି ନିଷ୍ଫଳ ହେଲେ

1932 ମସିହା ବେଳକୁ ସେମାନେ ଏହି ଯନ୍ତ୍ରର ପ୍ରସାର ଓ ଉନ୍ନତି କରି 700 କି.ଇ.ଭେ. ସ୍ତରରେ 10μA ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ପ୍ରୋଟନ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ପାଇ ପାରିଲେ । ଯେଉଁ ନଳରେ ତ୍ୱରଣ ହେଉଥିଲା, ସେହି ନଳକୁ ବଢ଼ାଇ ସେଥିରେ ଯେକୌଣସି ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁ ସେମାନେ ପୂରାଇ ପାରୁଥିଲେ । ଏହି ନଳର ଅଂଶର କଡ଼ରେ ପାତଳ ମାଇକା ଫିଲ୍ମ ଥିବାରୁ ସେଥିମଧ୍ୟରେ ସଂଘଟନ ଜାତ ବସ୍ତୁ ବାହାରିଯିବାର ସୁବିଧା ଥିଲା ଓ ବାହାରେ ଜିଙ୍କ ସଲଫାଇଡ୍ ସ୍ଫୁଲିଙ୍ଗ ପରଦାରେ ସେଗୁଡ଼ିକୁ ବାରି ହେଉଥିଲେ । ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକଭାବେ ବିଚ୍ଛୁରିତ ପ୍ରୋଟନଗୁଡ଼ିକୁ ବନ୍ଦ କରିଦେବାପାଇଁ ମାଇକା ସ୍ତରମାନଗୁଡ଼ିକ ଯଥେଷ୍ଟ ମୋଟା ଥିଲା । ଲିଥିୟମ୍‌ରେ ତାଙ୍କର ପ୍ରଥମ ସଫଳ ପରୀକ୍ଷା ହୋଇଥିଲା । ଲିଥିୟମ ଧାତୁର ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁକୁ 125 କି. ଇ. ଭେ. ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ପ୍ରୋଟନ ସାହାଯ୍ୟରେ ଆଘାତ କରି ସେମାନେ ଉଜ୍ଜ୍ୱଳ ସ୍ଫୁଲିଙ୍ଗ ଦେଖି ପାରିଲେ । 1μA ରଶ୍ମି ଦ୍ୱାରା ପ୍ରତି ମିନଟରେ ପ୍ରାୟ ଟି କରି ସ୍ଫୁଲିଙ୍ଗ ମିଳେ । ପ୍ରୋଟନର ଶକ୍ତି ବଢ଼ିବାରୁ ଆହୁରି ବହୁତ ସ୍ଫୁଲିଙ୍ଗ ଦେଖାଗଲା । 500 କି. ଇ. ଭେ.ରେ ସେମାନେ ହିସାବ କରି ଦେଖିଲେ ଯେ ପ୍ରାୟ ପ୍ରତି ଆପତିତ ପ୍ରୋଟନ ପାଇଁ ପ୍ରାୟ 10^{-8} ସଂଘଟନ ସମ୍ଭବ ହେଉଥିଲା । ଯେଉଁ କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ସ୍ଫୁଲିଙ୍ଗ ସୃଷ୍ଟି କରୁଥିଲେ ସେମାନଙ୍କର ଶୋଷଣ ପରୀକ୍ଷାରୁ ସେମାନେ 8·4 ସେ. ମି. ସର୍ବାଧିକ ପରାସର ମଧ୍ୟରେ ଶୋଷିତ ହେଉଥିବାର ଜଣାଗଲା ଏବଂ ଆୟନୀକରଣ ମାପରୁ ସେଗୁଡ଼ିକ α କଣିକା ବୋଲି ଜଣାଗଲା । ଏହି ପ୍ରକ୍ରିୟାଟି



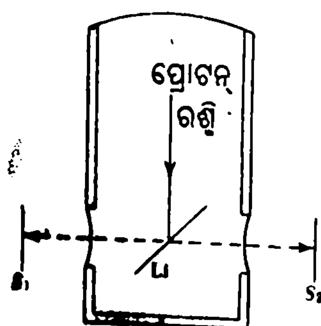
$$_3Li^7 + _1H^1 \rightarrow _2He^4 + _2He^4$$

ବୋଲି କକ୍‌କ୍ରଫ୍ଟ ଓ ୱାଲ୍‌ଟନ ସିଦ୍ଧାନ୍ତ କଲେ ।

ସେତେବେଳେ ବସ୍ତୁତ୍ୱଗୁଡ଼ିକ ଭଲଭାବରେ ଜଣା ନଥିଲା । ସେମାନେ ହିସାବ କଲେ ଯେ α କଣିକାମାନଙ୍କ ପାଇଁ 14·3±2·7 ମି. ଇ. ଭେ. ଗତିଜ ଶକ୍ତି ମିଳି ପାରିବ । ସେମାନେ ପରୀକ୍ଷାରୁ ପାଉଥିବା ପରାସରରୁ ଏହି ଶକ୍ତି ପରିମାଣ 17·2 ମି.ଇ.ଭେ. ବୋଲି ପାଇଲେ ଏବଂ ଏହା ମୋଟାମୋଟି ମିଳିଯାଇଥିଲା । ଚିତ୍ର ୧୫.୧୦ରେ ଦେଖାଯାଇଥିବା ବ୍ୟବସ୍ଥା ଅନୁସାରେ ଏକ ସମୟରେ ଦୁଇ ବିପରୀତ ଦିଗରେ ଦୁଇଟି α କଣିକା ଯୁଗ୍ମ ବତ ହେଉଥିବା ସେମାନେ ଦେଖାଇଥିଲେ । ଗୋଟିଏ ପାତଳ ମାଇକା ଉପରେ ପାତଳ ଲିଥିୟମ୍ ସ୍ତରଟିଏ ଜମା କରାଇ, ତାକୁ ପ୍ରୋଟନ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛକୁ 45° କୋଣ କରି

ରଖାଯାଇଥିଲା । ଏହା ସେମାନଙ୍କର ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁ ଥିଲା । ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁର ନଳର ଦୁଇ ବିପରୀତ ପଟରେ ଦୁଇଟି ମାଇକା ଝରକା ଦିଆଯାଇଥିଲା । ଏହି ବାଟେ ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁରେ ଉତ୍ପନ୍ନ ହେଉଥିବା α କଣିକା ବାହାରି ଯାଉଥିଲେ ଏବଂ S_1 ଓ S_2 ଦୁଇ ସ୍ଫୁଲିଙ୍ଗ ପରଦାରେ ଦେଖା ହେଉଥିଲେ । ଗୋଟିଏ ଗତିବାନ ଟେପ୍‌ରେ ଦୁଇଟି ସ୍ୱତନ୍ତ୍ରଭାବରେ ସ୍ଫୁଲିଙ୍ଗ ସବୁ ଲେଖୁଥିଲେ । ସେମାନଙ୍କର ଲେଖାରେ ବହୁ ଅଂଶରେ ଦୁଇ ଲେଖା ମିଳିଯାଉଥିବାରୁ ଅନୁମାନକ ପ୍ରକ୍ରିୟା ଘଟୁଛି ବୋଲି ବିଶ୍ୱାସ କରାଯାଇଥିଲା । ପରେ ମେଘପ୍ରକୋଷ୍ଠ ଫଟୋଗ୍ରାଫ୍ ସାହାଯ୍ୟରେ ଡି ଓ ଓ୍ୱାଲ୍ଟନ୍ ଏହି ପ୍ରକ୍ରିୟା ପ୍ରତିଷ୍ଠା କରିଥିଲେ ।

1932ରୁ 1933 ମଧ୍ୟରେ କକ୍‌କ୍ରଫ୍ଟ ଓ ଓ୍ୱାଲ୍ଟନ୍ ଅନ୍ୟ ବହୁ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ ପାଇଁ ପରୀକ୍ଷା କରିଥିଲେ । ପ୍ରୋଟନ ଆଘାତଦ୍ୱାରା ବୋରନ ଓ ଫ୍ଲୋରିନ ଦୁହେଁ ବହୁ ପରିମାଣରେ α କଣିକା ଉତ୍ପାଦନ କରିବା ଦେଖାଯାଇଥିଲା । *Be*, *Na*, *K* ଓ ଅନ୍ୟ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ ସବୁ ଜାଣି ହେବା ପରେ α କଣିକା ପରିମାଣ ଦେଇଥିଲେ । କକ୍‌କ୍ରଫ୍ଟ ଓ ଓ୍ୱାଲ୍ଟନଙ୍କର ପ୍ରଥମ ରିପୋର୍ଟର ଅଳ୍ପ କେତେକ ମାସ ପରେ 1932ମସିହାରେ ଲରେନ୍ସ ଲିଭିଙ୍ଗଷ୍ଟୋନ ଓ ହ୍ୱାଇଟ ସାଇକ୍ଲୋଟ୍ରୋନରୁ 1·2 ଅ. ଭ. ବେ ପ୍ରୋଟନ ବ୍ୟବହାର କରି *Li*, B ଏବଂ Fର ବିଘଟନ ରିପୋର୍ଟ କରିଥିଲେ । ଅଲିଫାଣ୍ଟ, କିନ୍‌ସେ ଏବଂ



[ଚିତ୍ର ୧୫·୧୦ *Li*କୁ ପ୍ରୋଟନରେ ଆଘାତ କରି କଣିକାମାନଙ୍କର ଯୁଗ୍ମ ଉତ୍ପାଦନ ଦର୍ଶାଇବାର ବ୍ୟବସ୍ଥା ।]

ରୁଥରଫୋର୍ଡ ଭ୍ୟାଟେରନ ଆଘାତଦ୍ୱାରା Li ଏବଂ Bର ବିଘଟନ ଦେଖିଥିଲେ । ଯେଉଁ, ଲୁଓରେନ୍ସ ଓ ଷୋଲଟାନ 1933 ମସିହାରେ ବେରିଲିୟମକୁ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ଆୟନ ଦ୍ୱାରା ଆଘାତ କରି କୃତ୍ରିମ ନିଉଟ୍ରନ ଉତ୍ପାଦନ ପ୍ରମାଣ କରିଥିଲେ ।

ପ୍ରୋଟନ ଦ୍ୱାରା ଲିଥିୟମର ବିଘଟନ ପରୀକ୍ଷାଗୁଡ଼ିକ ଆଇନଷ୍ଟାଇନଙ୍କର $E = mc^2$, ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଓ ଶକ୍ତିର ସମ୍ବନ୍ଧ, ସମୀକରଣଟିର ପ୍ରଧାନଲକ୍ଷ ପାରମାଣବିକ ସତ୍ୟତା ପରୀକ୍ଷା ସମ୍ଭବ କରିଥିଲା । ବସ୍ତୁକୁ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରୋମିଟର ଦ୍ୱାରା ସମସ୍ତ ବସ୍ତୁକୁ ଜଣାଥିବାରୁ ଏବଂ ପରୀକ୍ଷାରେ ଥିବା ଦ୍ରୁମ ମଧ୍ୟରେ ଶକ୍ତିର ପରିମାପ ସମ୍ଭବ ହେଉଥିବାରୁ, ବସ୍ତୁତ୍ୱରେ ହ୍ରାସ ଓ ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ଗତିଜଶକ୍ତି ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରାୟ ଶତକଡ଼ା 20 ତାରତମ୍ୟରେ ମେଳ ଦେଖାଯାଇଥିଲା । ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ନିଉକ୍ଲିୟର ପ୍ରକ୍ରିୟାରୁ ଏହି ସମ୍ବନ୍ଧ ଅଧିକ ସୂକ୍ଷ୍ମଭାବରେ ଏବେ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଇପାରୁଅଛି ।

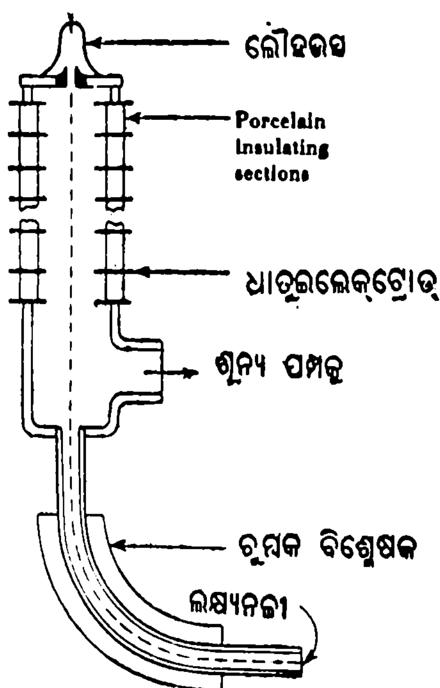
25·9 ତ୍ୱରଣକାରୀ :

କକ୍‌କ୍ରଫ୍ଟ ଓ ୱାଲ୍‌ଟନଙ୍କର ପରୀକ୍ଷାଗୁଡ଼ିକ ପରେ ବିଗତ ଯାଇଥିବା ବର୍ଷସବୁ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ଉର୍ଜାଯୁକ୍ତ କଣିକା ଉତ୍ପାଦନରେ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ଉନ୍ନତ ଯନ୍ତ୍ରପାତି ଓ କୌଶଳ ଦେଖି ପାରିଥିଲା । ଏଥିମଧ୍ୟରୁ କେତେଗୁଡ଼ିକ ନିଉକ୍ଲିୟର ଭୌତିକ ବିଦ୍ୟାରେ ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇଛି, ସେଥିରୁ ପ୍ରଧାନ ପ୍ରଧାନଗୁଡ଼ିକ ଆମେ ଏଠାରେ ବର୍ଣ୍ଣନା କରିବା ।

(କ) ଉଚ୍ଚ-ବିଭବବାନ ଯନ୍ତ୍ର :

ଟ୍ରାନସଫର୍ମର ରେକ୍ଟିଫାୟର ଯନ୍ତ୍ରକୁ କ୍ରମରେ ଯୋଡ଼ କରି ମିଲିଅନ୍ କେତେକ ଅଯୁତ ଭୋଲ୍‌ଟ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଉତ୍ପାଦନ କରାଯାଇପାରିବ । ଅଧିକ ବିଭବ ସହ୍ୟ କରି ପାରିବା ଭଳି ରେକଟିଫାୟର ତିଆରି ଅସୁବିଧାଜନକ ହୋଇଥିବାରୁ ଏହି ଯନ୍ତ୍ରଗୁଡ଼ିକ ସାଧାରଣତଃ 200 କି. ଭୋ.ର ଏକକଗୁଡ଼ିକୁ ନେଇ ଗଠିତ ହୋଇଥାଏ । ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ଟ୍ରାନ୍ସ-ଫର୍ମର୍ ପୂର୍ବ ଟ୍ରାନ୍ସଫର୍ମର ଉପରେ ଏକ ବିଶେଷ ଭାବରେ ଗୁଡ଼ାହୋଇ ଏହା ଗଠିତ ହୋଇଥାଏ ବା ଗୋଟିଏ ଟ୍ରାନସଫର୍ମର ନେଇ କୌଣସି ଏକ ଭୋଲ୍‌ଟ ବୃଦ୍ଧିକାରୀ ସର୍କିଟ୍ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇଥାଏ । ଏପ୍ରକାର ବ୍ୟବସ୍ଥାରେ ପ୍ରଧାନ ପ୍ରତିବନ୍ଧକ ହେଲା କରୋନା କ୍ଷରଣ (ତୀକ୍ଷ୍ଣ ସ୍ଥାନମାନଙ୍କରେ ବାୟୁର ସ୍ଥାନୀୟ ଆୟନ ସୃଷ୍ଟି ଫଳରେ ଏହି), ଏହି କ୍ଷରଣ ଉଚ୍ଚମାନ କେତେକ ମିଲିଆମ୍ପିୟର ହୋଇପାରେ ଏବଂ ବଡ଼ ବଡ଼ ଧାରକ (କଣ୍ଡେନ୍ସର)

ବ୍ୟବହାର କଲେ ଭୋଲ୍ଟରେ ଏକ ଅନାବଶ୍ୟକ ତରଙ୍ଗ ସୃଷ୍ଟି ହେବ । ଉଦାହରଣ-ସ୍ୱରୂପ, ଯଦି ଧାରକକୁ $10^{-2}\mu F$ କୋଟୀର ହୁଏ, 1 ମି. ଆ. ସ୍ରୋତ ନିର୍ଗମ ହେଲେ 1/60 ସେ. ରେ 1.6 କି. ଭୋ. ପରିବର୍ତ୍ତନ ହେବ । କେତେକ ଉଦ୍ଦେଶ୍ୟରେ ଏହି ପରିମାଣର ଏକ ତରଙ୍ଗ ଚଳନୀୟ; କିନ୍ତୁ ଏହାଠାରୁ ଅଧିକ ଅପରିବର୍ତ୍ତନୀୟ ଭୋଲ୍ଟ ସ୍ଥା ବିଶେଷରେ ଦରକାର ହୋଇଥାଏ । ସେହି କାରଣରୁ, ସାଧାରଣତଃ 500 *Hz* ବା ଅଧିକ ଆବୃତ୍ତିରେ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହେବା ଯନ୍ତ୍ର ତିଆରି କରାଯାଇଥାଏ ।



[ଚିତ୍ର ୨୫·୧୧ ଗୋଟିଏ ଅଧିକ ଭୋଲ୍ଟ ତ୍ୱରଣକାରୀ ନଳୀ ଏବଂ ଗୋଟିଏ 90° ଚୁମ୍ବକୀୟ ବିଶ୍ଳେଷକ]

ଚିତ୍ର ୨୫·୧୧ରେ ଗୋଟିଏ ସାଧାରଣସ୍ତରେ ବ୍ୟବହୃତ ତ୍ୱରଣକାରୀ ନଳୀ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ନଳୀଟି ବହୁ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦରେ ଭଗାଯାଇଅଛି, ପ୍ରତି ଖଣ୍ଡରେ

ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ଆୟନବାଧୀନ ଭୋଲ୍ଟ ବ୍ୟବସ୍ଥା ରହିଅଛି । ଏହା ଆୟନର ରଶ୍ମି ଗୁଚ୍ଛକୁ ଏକ କେନ୍ଦ୍ରଗାମୀ ଲେନ୍ସ ସାହାଯ୍ୟ କରେ ଏବଂ ଅପରବାହୀ ପୃଷ୍ଠରେ ବିଭବ ଗ୍ରାଡିଏଣ୍ଟ (ଫ୍ୟୁଚଫଲ)କୁ ଯଥାସମ୍ଭବ ସମସ୍ତବରେ ବଣ୍ଟନ କରିଥାଏ । ନଳୀର ଉପରେ ଏହା ଗୋଟିଏ ଉତ୍ସରେ ଆୟନିତ ହେବା ଯୁକ୍ତ ଆୟନସବୁ ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଥାଏ । ପ୍ରୋଟନ ପାଇବାକୁ ଇଚ୍ଛା କଲେ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରି ଗ୍ୟାସ୍ ଉପସ୍ଥିତ ନଳ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରବେଶ କରାଇ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଆଘାତ ଦ୍ୱାରା ପରମାଣୁ ଗୁଡ଼ିକ ଆୟନୀକୃତ କରାଯାଏ । ଆୟନ-ଉତ୍ସର ଜନ୍ମରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ରଖି ସେଥିରେ ଗୋଟିଏ ସୂକ୍ଷ୍ମ ଛିଦ୍ର କରି, ତାକୁ ଉପସ୍ଥିତ ନଳ ତୁଳନାରେ ବିଯୁକ୍ତ ବିଭବରେ ରଖାଯାଏ । ଏହି ଛିଦ୍ରବାଟେ ଯୁକ୍ତ ଆୟନ ବାହାରି ଅସି ପ୍ରଧାନ ତ୍ୱରଣକାରୀ ନଳ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରବେଶ କରେ । ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ ଲେନ୍ସର ଏକଶ୍ରେଣୀ ସାହାଯ୍ୟରେ, ନଳୀ ମଧ୍ୟରେ ତଳକୁ ତଳକୁ ଗଲାବେଳେ ଆୟନଗୁଡ଼ିକ ଏକ ସରୁ ଗୁଚ୍ଛରେ ସଂଗୃହୀତ ହୋଇଯାନ୍ତି । ଅଳ୍ପ ପରିମାଣର ଗ୍ୟାସ ମଧ୍ୟ ନଳୀ ଭିତରକୁ ଧ୍ୱଳ ଆସୁଥିବାରୁ ନଳୀଟିକୁ ବଡ଼ ବଡ଼ ବିସରଣ ପମ୍ପ ସାହାଯ୍ୟରେ ସର୍ବଦା ଗ୍ୟାସ ଶୂନ୍ୟ କରାଇବାର ଅବଶ୍ୟକତା ଅଛି ।

ଆୟନ ଉତ୍ସ ପ୍ରୋଟନ (H^+) ଛଡ଼ା ଏକ ଯୁର୍ଜବିଶିଷ୍ଟ H_2^+ ଓ H_3^+ ଆୟନ ସବୁ ଉତ୍ପାଦନ କରିଥାଏ । ଏହା ସାଙ୍ଗକୁ ପ୍ରଧାନ ନଳୀରେ ଅବଶିଷ୍ଟ ରହି ଯାଇଥିବା ଗ୍ୟାସରେ ମଧ୍ୟ ସାମୟିକ ଅୟନସବୁ ଉତ୍ପନ୍ନ ହୋଇ ରଶ୍ମି ଗୁଚ୍ଛରେ ସଂଗୃହୀତ ହୁଏ ଓ ତ୍ୱରାନ୍ୱିତ ହୁଏ । ତେଣୁ ନଳର ନିମ୍ନ ଅଗରେ ଚୁମ୍ବକୀୟ ବିକ୍ଷେପଣର ବ୍ୟବସ୍ଥା ବା ଚୁମ୍ବକୀୟ ଓ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ବିକ୍ଷେପର ଏକତ୍ର ବ୍ୟବସ୍ଥା କରି ଅନାବଶ୍ୟକ ଉପାଦାନଗୁଡ଼ିକୁ ବହିଷ୍କାର କରିବାର ଆବଶ୍ୟକତା ରହିଅଛି । ଗୋଟିଏ ସୁଗଠିତ ଚୁମ୍ବକୀୟ ବା ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ ବିଶ୍ଳେଷକ ସାହାଯ୍ୟରେ କ୍ଷେତ୍ର ମାପ କରି କଣିକାମାନଙ୍କର ଶକ୍ତି ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଇପାରିବ । ସାଧାରଣ ବିଭବ ମାପ କରି କଣିକାମାନଙ୍କର ଶକ୍ତି ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଯେଉଁ ଜ୍ଞାନ ଜନ୍ମେ, ଏହି ପ୍ରଣାଳୀରେ ତାଠାରୁ ସୂକ୍ଷ୍ମତର ଜ୍ଞାନ ଜନ୍ମିବ ।

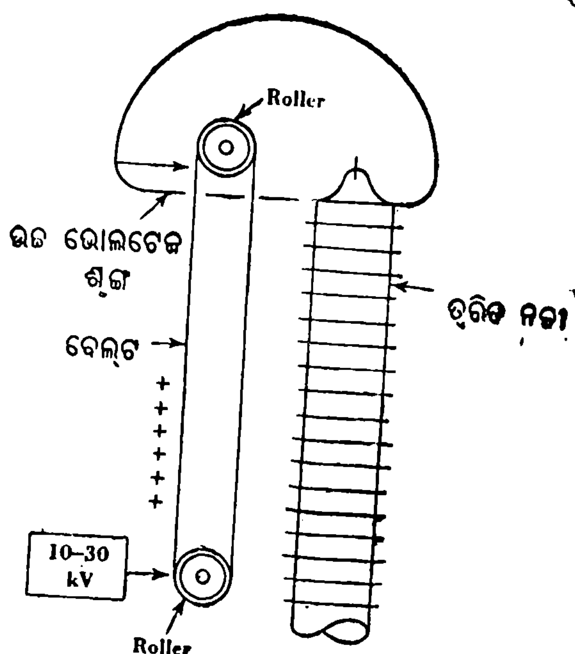
(ଖ) ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ତ୍ୱରଣକାରୀ :

ଭ୍ୟାନ ଡି ଗ୍ରାଫ୍ 1931 ମସିହାରେ ଅବିରତ ଭାବରେ ଯୁର୍ଜ ବହି ହେଉଥିବା ଏକ ଗତିଶୀଳ ବେଲ୍ଟ ବ୍ୟବହାର କରି ଏକ ଅପରିବର୍ତ୍ତୀ ଉଚ୍ଚ ବିଭବ ସହଜ ଉପାୟରେ

ଉତ୍ପନ୍ନ କରାଥିଲେ; ଟ୍ରାନ୍ସଫର୍ମର-ରେକ୍ଟିଫାୟର ବ୍ୟବହାରରେ ଆସୁଥିବା ଅଯୁକ୍ତଧାରାର ତରଙ୍ଗସବୁ ଏଠାରେ ସୃଷ୍ଟି ହେଉନଥିଲା । ଚିତ୍ର ୨୫.୧୨ରେ ଏହି ପ୍ରଣାଳୀ ନକ୍ସା ସାହାଯ୍ୟରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଦୁଇଟି ରୋଲର ଦିଆଯାଇଅଛି । ସେଥିରୁ ତଳଟି ଗୋଟିଏ ମୋଟରକୁ ଲଗିଛି ଓ ଉପରଟି ଉଚ୍ଚ ବିଭବ ଅଞ୍ଚଳରେ ରହିଅଛି; ଭୂମିଠାରୁ ଉତ୍ତମରୂପେ ଏହା ରୋଧିତ ହୋଇଅଛି । ଏହି ରୋଲର ଦୁଇଟି ଉପରେ ଗୋଟିଏ ରୋଧୀ ବସ୍ତୁର ବେଲ୍ଟ ରହିଅଛି । ବେଲ୍ଟ ସମ୍ମୁଖରେ ତାକୁ ପ୍ରାୟ ଛୁଇଁବାଭଳି ଗୋଟିଏ ପାନିଆଁ ତଳ ରୋଲରର ନିକଟତ୍ତ ସ୍ଥଳରେ ରହିଛି । ଧାତୁର ମୁନିଆଁ ପିନ୍‌ରେ ଏହି ପାନିଆଟି ତିଆରି । ଏହି ପାନିଆଁ ଓ ବେଲ୍ଟ ମଧ୍ୟରେ 10ରୁ 30 କି. ଭୋ. ବିଭବ ଘଟିଲେ ସେଥିମଧ୍ୟରେ କରୋନା ଡିସ୍‌ଚାର୍ଜ ହେବ; ଏହାଦ୍ୱାରା ଯୁକ୍ତ ଆୟନ ପାନିଆଁରୁ ବେଲ୍ଟକୁ ପ୍ରବାହିତ ହେବ ଏବଂ ବିଯୁକ୍ତ ଅୟନ ଓ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ପାନିଆଁକୁ ବହି ଆସିବ । ତାପରେ ଯୁକ୍ତ ଚାର୍ଜ ବେଲ୍ଟରେ ଲଗି ଅଧିକ ଭୋଲ୍ଟ ଥିବା ମୁକ୍ତ ଆଡ଼କୁ ଚାଲିଯିବ; ଏହି ମୁଣ୍ଡକୁ ଲଗିଥିବା ଅନ୍ୟ ପାନିଆଁଟି ଏହି ଚାର୍ଜକୁ ସଂଗ୍ରହ କରିନେବ । ଏହି ମୁଣ୍ଡଟି କେତେ ବିଭବକୁ ନିଆଯାଇପାରିବ ତାହା ବେଲ୍ଟ ଯୋଗାଉଥିବା ସ୍ରୋତ ଓ କ୍ଷରଣୋଦ୍ଧ ନଳରେ ତଳକୁ ନିଷ୍କାସିତ ହୋଇ ଯାଉଥିବା ବିଦ୍ୟୁତ ବା କରୋନାଦ୍ୱାରା ନିଷ୍କାସିତ ହେଉଥିବା ମୋଟ ପରିମାଣ । ଏ ଦୁହିଁଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ସାମ୍ୟ ବସ୍ତା ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିଥାଏ । ହର୍ବ, ପାର୍କିନ୍‌ସନ ଏବଂ କର୍ଷ୍ଟ ଏଥିରେ ସାମାନ୍ୟ ପରିବର୍ତ୍ତନ କରିଥିଲେ । ତାଙ୍କର ପ୍ରଣାଳୀ ବର୍ତ୍ତମାନ ସବୁଠାରେ ଅଧିକ ବିଭବ ଦେଇ ଭୋଲ୍ଟ ଦେବାରେ ବ୍ୟବହୃତ ହେଉଅଛି । ଏହି ପ୍ରଣାଳୀ ଅନୁସାରେ ମେସିନ୍‌ଟିକୁ ଏବଂ ତାଙ୍କର କ୍ଷରଣୋଦ୍ଧ ନଳୀଟିକୁ ଗୋଟିଏ ଚାପ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ ମଧ୍ୟରେ ରଖାଯାଉଛି; ଏହାଫଳରେ ବାୟୁ ବା ଅନ୍ୟ କୌଣସି ବିଦ୍ୟୁତରୋଧୀ ଗ୍ୟାସକୁ କେତେକ ଗୁଣ ବାୟୁ ଚାପରେ ରଖି ମେସିନଟିକୁ ଚଳାଯାଇ ପାରୁଅଛି । ଗୋଟିଏ ଗ୍ୟାସରେ ବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରତିରୋଧ କ୍ଷମତା ମୋଟାମୋଟି ଏହାର ଚାପକୁ ଅନୁପାତୀ ହୋଇଥିବାରୁ ଅଧିକ ଚାପ ବ୍ୟବହାର କରି ଆକାରରେ ଛୋଟ ମେସିନ ବ୍ୟବହାର କରିବା ସମ୍ଭବ । ଉଦାହରଣସ୍ୱରୂପ, 1 ବାୟୁ ଚାପରେ 1 ମି. ଭୋ. ଦେବା ମେସିନ ପାଇଁ 10ରୁ 15 ଫୁଟ ବ୍ୟାସବିଶିଷ୍ଟ ସ୍ଥାନ ଦରକାର ହେଉଥିବା ସ୍ଥଳେ 5ରୁ 8 ମି. ଭୋ. ସ୍ଥିର-ବିଦ୍ୟୁତଜ କ୍ଷରଣକାରୀ ମେସିନ ପାଇଁ ଚାପ ପ୍ରକୋଷ୍ଠରେ 8ରୁ 10 ଫୁଟ ବ୍ୟାସବିଶିଷ୍ଟ ସ୍ଥାନ ଦରକାର ହେବ ।

(ଘ) ସାଇକ୍ଲୋଟ୍ରୋନ :

ଅଧିକ ଭୋଲ୍ଟେଜ ବ୍ୟବହାର ନକରି ଚୁମ୍ବକୀୟ-ଅନୁନାଦ ତ୍ୱରଣକାରୀ ବା ସାଇକ୍ଲୋଟ୍ରୋନ ସାହାଯ୍ୟରେ ଅଧିକ ଶକ୍ତିଶାଳୀ କଣିକ ସବୁ ଉତ୍ପାଦନ କରାଯାଇପାରେ । ଏହା 1932 ମସିହାରେ ଲରେନ୍ସ ଓ ଲିଭିଂଷ୍ଟୋନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ତିଆରି ହୋଇଥିଲା । ସାଇକ୍ଲୋଟ୍ରୋନରେ ଚାର୍ଜଯୁକ୍ତ କଣିକା ସବୁ ଗୋଟିଏ ରେଡ଼ିଓ-ଆବୃତ୍ତି କ୍ଷେତ୍ରରେ ବାରମ୍ବାର ତ୍ୱରଣ ଲାଭ କରିଥାଏ । ଗୋଟିଏ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ଚୁମ୍ବକର ପ୍ରଭାବରେ କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ଥରେ କ୍ଷେତ୍ରସ୍ଥ ସ୍ଥାନରେ ଗତି କଲେ ଥରେ ଅଧିକ ଶକ୍ତିଶାଳୀ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଗତି କରିଥାଏ, ପରିବର୍ତ୍ତନଶୀଳ ବିଦ୍ୟୁତକ୍ଷେତ୍ର ସହ ସମକକ୍ଷରେ ଏହା ଘଟିଥାଏ । ଚିତ୍ର ୨୫.୧୩ରେ ଏହି ପ୍ରଣାଳୀଟି ଦର୍ଶାଯାଇଅଛି । ଗୋଟିଏ ଚଟକା ସିଲିଣ୍ଡର ଆକାରର ଶୂନ୍ୟ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ Bରେ, ଦୁଇଟି D–



[ଚିତ୍ର ୨୫.୧୨ ଗୋଟିଏ ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ ତ୍ୱରଣକାରୀ । ଏଥିରେ ଗୋଟିଏ ବିଦ୍ୟୁତରୋଧୀ ଗତିଶୀଳ ବେଲ୍ଟରେ ଚାର୍ଜ ଯୋଗାଇ ଦେଇ ରୋଧିତ ଅଧିକ ଭୋଲ୍ଟେଜଶାଳୀ ମୁଣ୍ଡ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ବୋହି ନିଆଯାଏ]

ଆକାରର ଫମ୍ପା ଚଟକା ଅର୍ଦ୍ଧ ସିଲିଣ୍ଡରାକାର ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରୋଡ୍ D_1 ଓ D_2 (ଏ ପ୍ରତ୍ୟେକଟିକୁ E ବୁଝାଯାଏ) ରହିଅଛି । Bକୁ ଗୋଟିଏ ଚୁମ୍ବକର ଦୁଇ ମେରୁ ମଧ୍ୟରେ ରଖାଯାଇଅଛି (ଚିତ୍ରରେ ଦେଖାଯାଇନାହିଁ) । ଏହି D ଦୁଇଟି ଗୋଟିଏ ଘନାଗ୍ର ବିଦ୍ୟୁତକୁଣ୍ଡଳୀ ସହିତ ଯୋଗ କରାଯାଏ ବା ଏଦ୍ୱାର ଅଂଶବିଶେଷ ହୋଇଥାଏ । ଉକ୍ତ ବିଦ୍ୟୁତକୁଣ୍ଡଳୀ ଗୋଟିଏ ଅଧିକ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ରେଡ଼ିଓ-ଆବୃତ୍ତି ଦୋଳକ ଦ୍ୱାରା ପରିଚାଳିତ ହୋଇଥାଏ । ତେଣୁ ଦୁଇ Dକୁ ପୃଥକ୍ କରୁଥିବା ସ୍ଥାନରେ ଏକ ପ୍ରତ୍ୟାବର୍ତ୍ତୀ ବିଭବ ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଥାଏ । ପ୍ରକୋଷ୍ଠର କେନ୍ଦ୍ରସ୍ଥଳରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ ଅୟନ ଉତ୍ସ C ଅଳ୍ପ ପ୍ରାଥମିକ ଗତିବେଗ ବିଶିଷ୍ଟଯୁକ୍ତ ଆୟନ ଯୋଗାଇଥାଏ ।

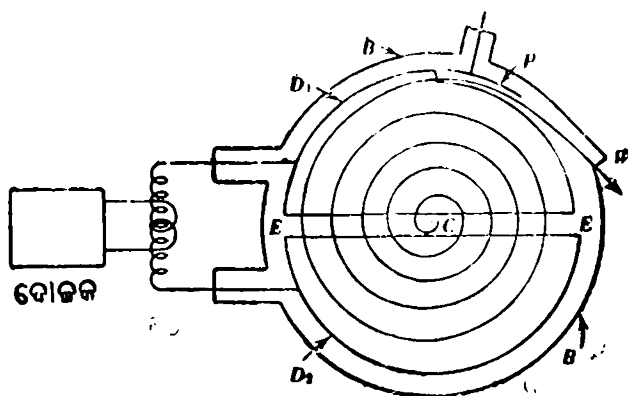
ଗୋଟିଏ ଯୁକ୍ତ ଆୟନ ଦୁଇ D ମଧ୍ୟସ୍ଥ ସ୍ଥାନରେ ଦେଖାଯାଉ । ଆମେ ବର୍ତ୍ତମାନ ଏହି ଅୟନର ପର ଅବସ୍ଥା ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଆଲୋଚନା କରିବା । ଯେତେବେଳେ ଚିତ୍ରରେ ଉପର Dଟି ବିଯୁକ୍ତ ସେତେବେଳେ ଏହି କଣିକା ଉପରଆଡ଼କୁ ଗତି କରୁ । D ମଧ୍ୟସ୍ଥ ବିଦ୍ୟୁତ କ୍ଷେତ୍ରହୀନ ସ୍ଥାନଆଡ଼କୁ କଣିକାଟି ତ୍ୱରାନ୍ୱିତ ହେବ । ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ର କାଗଜରୁ ବାହାରଆଡ଼କୁ ରହିଛି ବୋଲି ଧରାଯାଉ । ଏହି ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ରର ପ୍ରଭାବରେ କଣିକାଟି ଗୋଟିଏ ଅର୍ଦ୍ଧବୃତ୍ତରେ ଗତି କରି ଦୁଇ D ମଧ୍ୟସ୍ଥ ସ୍ଥାନକୁ ଫେରି ଆସିବ । (କିନ୍ତୁ ବର୍ତ୍ତମାନ ତଳଆଡ଼କୁ ଗତି କରୁଥିବ) । ଏହିପରି ଫେରି ଆସିବା ସମୟ * $t = \pi/\omega_B$ । ଏଠାରେ ω_B ଚୁମ୍ବକୀୟ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଏଦ୍ୱାର କୌଣିକ ଆବୃତ୍ତି ।

$$\omega_B = \frac{v}{r} = B\frac{e}{M} \qquad (୨୦.୨୦)$$

---

* ଆମେ ଏଠାରେ ବୈଦ୍ୟୁତିକ ତ୍ୱରଣ ସମୟରେ ଗତିକୁ ଅବହେଳା କରିଥାଉଁ ଅର୍ଥାତ୍ ଆମେ ଅନୁମାନ କରିଥାଉଁ ଯେ ଯେଉଁ ଦୂରତା ମଧ୍ୟରେ ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ର କାର୍ଯ୍ୟ କରୁଛି ସେ ଦୂରତା କ୍ଷେତ୍ରହୀନ ସ୍ଥାନରେ ଗତିପଥ ତୁଳନାରେ ହ୍ରସ୍ୱ । ଗତିର ପ୍ରାରମ୍ଭରେ ଏପରି ଅନୁମାନ ଅନୁଚିତ, ପ୍ରଥମ କେତୋଟିଥରର ଗତିପଥ ଜଟିଳ ।

ବୈଦ୍ୟୁତ-ଆବୃତ୍ତି କ୍ଷେତ୍ରର କୌଣିକ ଆବୃତ୍ତି w_E । ଯଦି ପୂର୍ବ ବ୍ୟବସ୍ଥାଫଳରେ କଣିକାଟି D ମଧ୍ୟରେ ଥିବାବେଳେ ବିଭବ ଅନ୍ତର ବିପର୍ଯ୍ୟସ୍ତ ହୋଇଯାଏ ଅର୍ଥାତ୍ $w_E = w_B$, ତେବେ ଆୟନଟି ପୁଣି ଥରେ ତ୍ୱରାନ୍ୱିତ ହେବ । ଏଥିରେ ପ୍ରଧାନ କଥା ହେଲା, କଣିକାଟିର ଗତିବେଗ ଯାହା ହେଉ ନା କାହିଁକି କୌଣିକ ଆବୃତ୍ତି w_B ଧ୍ରୁବ (ଯେପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଆପେକ୍ଷିକ ତାତ୍ତ୍ୱିକ ବସ୍ତୁତ୍ୱରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ଅବହେଳା କରାଯାଇ ପାରିବ); ଗତିବେଗ ବଢ଼ିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଗତିପଥର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ମଧ୍ୟ ବଢ଼ିଥାଏ ଓ ଅର୍ଦ୍ଧପଥ ଅତିକ୍ରମ କରିବାର ସମୟ ଧ୍ରୁବ ରହିଥାଏ । ପ୍ରତି ଅର୍ଦ୍ଧ ଆବର୍ତ୍ତି କାଳ ମଧ୍ୟରେ ଏହି ପ୍ରଣାଳୀରେ ତ୍ୱରଣ ହେଉଥାଏ, କଣିକାଟି ବିଭିନ୍ନ ସଂଶ୍ଳିଷ୍ଟ ଅର୍ଦ୍ଧବୃତ୍ତାକାର ପଥରେ ଗତି କରୁଥାଏ, ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ରଦ୍ୱାରା ନିର୍ଦ୍ଧାରିତ ଗୋଟିଏ ଲିମିଟ୍ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ R_0ରେ ପହଞ୍ଚିବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଏହି ପ୍ରଣାଳୀ କାର୍ଯ୍ୟ କରୁଥାଏ । ଏହି ଅବସ୍ଥାରେ ଗୋଟିଏ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧୀୟ ସ୍ଥିର-ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ର P ବିକ୍ଷେପକ ସାହାଯ୍ୟରେ ଯୋଗାଇ ଆୟନକୁ ବାହାର କରାଯାଇ ପାରେ । P ଆୟନର ଗତିପଥରେ ଯଥେଷ୍ଟ ପରିବର୍ତ୍ତନ ଆଣେ ଓ ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ରର କଡ଼ରେ



[ଚିତ୍ର ୨୫·୧୩ ସାଇକ୍ଲୋଟ୍ରନର ସ୍କିମ୍ । କାଗଜରୁ ବାହାରକୁ ଆସୁଥିବା ଏକ ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ରରେ ଏହା କାମ କରୁଥାଏ]

W ଝରକା ବାଟଦେଇ ଆୟନକୁ ବାହାରକୁ ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁଆଡ଼କୁ କାଢ଼ିଦିଏ । ଅନ୍ୟ ଏକ ପ୍ରଣାଳୀରେ, ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁକୁ D ପ୍ରକୋଷ୍ଠ ମଧ୍ୟରେ ରଖି ଦିଆଯାଇପାରେ ଏବଂ ଆୟନ

ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛକୁ ବାହାରକୁ କାଢ଼ି ଆଣିବା ଅବସ୍ଥାରେ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇପାରେ । ଦୁଇ D ମଧ୍ୟସ୍ଥ ସ୍ଥାନରେ ଅସମାଙ୍ଗୀ ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ରଦ୍ୱାରା ଏହି ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ଏକ ବହିର୍ଗାମୀ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଏବଂ B ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ଅନୁସାରେ କ୍ରମେ କମିଯାଉଥିବାରୁ (କାହିଁକି ଏପରି କରାଯାଇଥାଏ) ସମାନ୍ତର ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ଉତ୍ପନ୍ନ ହୋଇଥାଏ ।

ମିଳ ପାରୁଥିବା ସର୍ବୋଚ୍ଚ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ନିର୍ଭର କରିଥାଏ । ଲବ୍ଧ ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ର, ଲମିତ୍ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ R_0 ଓ କଣିକାର ପ୍ରକୃତି ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିଥାଏ ।

$$K_{max} = \frac{P^2}{2M} = \frac{B^2 e^2 R_0^2}{2M} \qquad (୨୫.୨୧)$$

ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ଗୋଟିଏ 60 ଇଞ୍ଚ ବ୍ୟାସବିଶିଷ୍ଟ ସାଇକ୍ଲୋଟ୍ରୋନ 16000 ଗାଉସ୍-ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ରରେ କାର୍ଯ୍ୟ କରି ରେଡ଼ିଓ-ଆବୃତ୍ତି 12 ମ. ହର୍ଜରେ 26 ମି. ଇ. ଭୋ. ଡ୍ୟୁଟେରନ ଉତ୍ପାଦନ କରିପାରିବ । ମତ ଅନୁସାରେ, ଆବୃତ୍ତିକୁ ଦ୍ୱିଗୁଣିତ କରି ଏହି ଶକ୍ତି ପରିମାଣର ଦ୍ୱିଗୁଣିତ ଶକ୍ତିବିଶିଷ୍ଟ ପ୍ରୋଟନ ମିଳିପାରିବ । କିନ୍ତୁ ଆବୃତ୍ତିକୁ ଦ୍ୱିଗୁଣିତ କରିବା ଏକ ଜଟିଳ ସମସ୍ୟା, ତେଣୁ ସାଧାରଣତଃ Bକୁ କମାଇ ସାଇକ୍ଲୋଟ୍ରୋନ ସବୁ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ କରାଯାଏ ଓ ସମ୍ଭାବ୍ୟ ଶକ୍ତିର ଅର୍ଦ୍ଧେକ ମାତ୍ର ଉତ୍ପନ୍ନ ହୋଇଥାଏ ।

(ଘ) ସିଙ୍କ୍ରୋସାଇକ୍ଲୋଟ୍ରୋନ :

ଯେତେବେଳେ କଣିକାଗୁଡ଼ିକର ଆପେକ୍ଷିକୀୟ ଗତିବେଗ ($v \approx c$) ହୋଇଥାଏ, ସେତେବେଳେ ସମୀକରଣ (୨୫.୨୦)ରେ ଥିବା w_Bର ଧ୍ରୁବାବସ୍ଥାରେ ବ୍ୟତିକ୍ରମ ହୋଇଥାଏ; କାରଣ ଏଠାରେ M ସ୍ଥିରାବସ୍ଥା ବସ୍ତୁତ୍ୱଠାରୁ ବହୁ ପରିମାଣରେ ପୃଥକ ହୋଇଯାଇଥାଏ । ମତ ଅନୁସାରେ ଚୁମ୍ବକୀୟ କ୍ଷେତ୍ରକୁ ପରିବର୍ତ୍ତିତ କରି ଅର୍ଥାତ୍ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧର ବୃଦ୍ଧି ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ Bର ସାମାନ୍ୟ ପରିମାଣରେ ବୃଦ୍ଧି କରି ବସ୍ତୁତ୍ୱର ପରିବର୍ତ୍ତନକୁ ଗ୍ରହଣ କରି ନିଆଯାଇପାରେ; କିନ୍ତୁ ଚୁମ୍ବକୀୟ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଏପରି ପରିବର୍ତ୍ତନ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛକୁ ଏକ କେନ୍ଦ୍ରଗାମୀ କରାଇବାରେ ବାଧା ଘଟାଇବ । 1945 ମସିହାରେ ମ୍ୟାକ୍‌ମିଲାନ ଓ ଭେକ୍‌ସଲର୍ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଭାବରେ ଏହାର ଏକ ବିକଳ୍ପ ବ୍ୟବସ୍ଥା ପ୍ରସ୍ତାବ ଦେଇଥିଲେ । ଏହି ବ୍ୟବସ୍ଥା ଅନୁସାରେ କଣିକାଟି ତ୍ୱରାନ୍ୱିତ ହେବା ଅବସ୍ଥାରେ ବସ୍ତୁତ୍ୱର ପରିବର୍ତ୍ତନକୁ ସମତୁଲ୍ୟ କରିଦେବା ଭଳି ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ବା ରେଡ଼ିଓ-ଆବୃତ୍ତିରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ କରାଯିବା

1 କ୍ଷେତ୍ରର ପରିବର୍ତ୍ତନ ଅନୁସାରେ କଣିକାଟିଏ କେତୋଟି ସ୍ଥାୟୀ ଗତିପଥକୁ ଖସିଯିବ ବୋଲି ଏ ଉଭୟ ଘଟଣାରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇ ପାରିବ । ଏହି ନୀତି ବ୍ୟବହାର କରୁଥିବା ସାଇକ୍ଲୋଟ୍ରୋନକୁ ସିଙ୍କ୍ରୋସାଇକ୍ଲୋଟ୍ରୋନ କୁହାଯାଏ । ସାଧାରଣତଃ ପ୍ରୋଟନ, ଡ୍ୟୁଟେରନ ବା α କଣିକା ପରି ଗୁରୁ କଣିକାଗୁଡ଼ିକୁ ତ୍ୱରାନ୍ୱିତ କରିବାପାଇଁ ସିଙ୍କ୍ରୋ-ସାଇକ୍ଲୋଟ୍ରୋନ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇଥାଏ ଏବଂ ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ରକୁ ସ୍ଥିର ରଖି ବେତାର-ଆବୃତ୍ତିରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ କରାଯାଇଥାଏ । ବର୍ତ୍ତମାନ 340 ମି. ଇ. ଭୋ. ପ୍ରୋଟନ୍ ଉତ୍ପାଦନ କରୁଥିବା 184 ଇଞ୍ଚ ଆବୃତ୍ତି ମଡ୍ୟୁଲେନ ସିଙ୍କ୍ରୋସାଇକ୍ଲୋଟ୍ରୋନରେ 35% ଆବୃତ୍ତିର ପରିବର୍ତ୍ତନ ଆବଶ୍ୟକ ହୋଇଥିଲା । ଇଲେକ୍ଟ୍ରନକୁ ତ୍ୱରାନ୍ୱିତ କରିବାକୁ ହେଲେ ବା କେତେକ ଶତକ ମି. ଇ. ଭୋ.ରୁ ଅଧିକ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ଗୁରୁକଣିକା ଉତ୍ପାଦନ କରିବାକୁ ହେଲେ ସାଧାରଣତଃ ସିଙ୍କ୍ରୋସାଇକ୍ଲୋଟ୍ରୋନ ବ୍ୟବହାରକୁ ଅଗ୍ରାଧିକାର ଦିଆଯାଇଥାଏ ।

(ଡ) ସିଙ୍କ୍ରୋଟ୍ରୋନ :

ସିଙ୍କ୍ରୋଟ୍ରୋନ ପ୍ରଧାନତଃ ସିଙ୍କ୍ରୋସାଇକ୍ଲୋଟ୍ରୋନ ପରିକଳ୍ପିତ ହୋଇଥିବା ନୀତି ଅନୁସରଣ କରିଥାଏ, କେବଳ ପ୍ରଭେଦ ଏତିକି ଯେ ଏଥିରେ ପ୍ରାୟ ଆପେକ୍ଷିକୀୟ ଗତି-ବେଗରେ ଥିବା କଣିକାସବୁ ପୂରାଇ ଦିଆଯାଏ ଏବଂ ବେତାର-ଆବୃତ୍ତିକୁ ଧ୍ରୁବ ରଖି ସମୟାନୁସାରେ ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ରକୁ ବଦଳାଯାଏ । ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ରର ସ୍ୱଳ୍ପ ମୂଲ୍ୟବେଳେ କଣିକାସବୁ ପୂରାଇ ଦିଆଯାଏ ଏବଂ ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ରରେ ବୃଦ୍ଧି ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ବେତାର-ଆବୃତ୍ତି ତ୍ୱରଣକାରୀ ବ୍ୟବଧାନକୁ ଶକ୍ତି ପ୍ରଦାନ କରିଥାଏ । ବେତାର-ଆବୃତ୍ତି ω_o ଧ୍ରୁବ ହୋଇଥିବାରୁ ଓ କଣିକାର ଗତିବେଗ (c ର ପାଖାପାଖି) ପ୍ରଧାନତଃ ଧ୍ରୁବ ହୋଇଥିବାରୁ କଣିକାଟିର ଗତିପଥର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ $R = c/\omega_o$, ମୋଟାମୋଟି ଭାବରେ ସମସ୍ତ ତ୍ୱରଣ ସମୟରେ ଏକା ରହିଥିବ । ତେଣୁ କେବଳ ସେହି ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ପାଇଁ ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ରଟିଏ ଆବଶ୍ୟକ ହେବ । ଏହି କାରଣରୁ ଅନେକ ବ୍ୟୟ କମିଯିବ, ଯେହେତୁ ଚୁମ୍ବକର ସମସ୍ତ ମଧ୍ୟ ଅଂଶ ପୂରାପୂରି ବାଦ୍ ଦିଆଯାଇ ପାରିବ । 1 GeV ଶକ୍ତି ବା ତା'ଠାରୁ ଅଧିକ ଶକ୍ତି ଦେବା ଭଳି ବହୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସିଙ୍କ୍ରୋଟ୍ରୋନ ତିଆରି କରାଯାଇଛି ।

ଗୁରୁ କଣିକାମାନଙ୍କ ପାଇଁ $v = c$ ଗତିବେଗ ଥାଇ କଣିକାମାନଙ୍କୁ ମେସିନ ମଧ୍ୟରେ ପୂରାଇବା ଏତେ ସହଜ କାମ ନୁହେଁ । ସେହି କାରଣରୁ, ବେତାର-ଆବୃତ୍ତି ଓ

ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ର ଉଭୟଙ୍କୁ ଏପରି ଭାବରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ କରାଯାଏ ଯେ କକ୍ଷପଥର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ମୋଟାମୋଟି ଧ୍ରୁବ ରହେ ।

(ଚ) ବିଟାଟ୍ରନ :

ବିଟାଟ୍ରନ ବା ଆବେଶ ତ୍ୱରଣକାରୀ 1940 ମସିହାରେ କର୍ଷ୍ଟଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଉଦ୍ଭାବିତ ହୋଇଥିଲା । ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କୁ ତ୍ୱରାନ୍ୱିତ କରିବା ଏହାର ଉଦ୍ଦେଶ୍ୟ । ଏହାର କାର୍ଯ୍ୟକାରିତା ଗୋଟିଏ ସରଳ ନୀତି ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିଥାଏ ଏବଂ ସେ ନୀତିଟି ହେଉଛି ଗୋଟିଏ ପରିବର୍ତ୍ତନଶୀଳ ଚୁମ୍ବକୀୟ ଫ୍ଲକ୍ସ ଯେକୌଣସି ବନ୍ଦ ଥିବା ପରିପଥରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋମୋଟିଭ ବଳ ସୃଷ୍ଟି କରିଥାଏ । ଅମ୍ପିୟରଙ୍କର ନିୟମରୁ ଯେକୌଣସି ବନ୍ଦ ଥିବା ଗତିପଥ ପାଇଁ ଆମେ ପାଉ,

$$\oint \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} = \frac{d}{dt} \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$$

ଗୋଟିଏ ପରିବର୍ତ୍ତନଶୀଳ ଚୁମ୍ବକୀୟ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ R ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ବିଶିଷ୍ଟ ଏକ ବୃତ୍ତାକାର ପଥ ପ୍ରଦକ୍ଷିଣ କଲେ, ତାଉପରେ $f = e\mathbf{E}$ ପରିମାଣର ବଳ ପଡ଼େ । ତେଣୁ ସଂବେଗ Pର ପରିବର୍ତ୍ତନ ହାର ହେବ

$$\frac{dP}{dt} = f = \frac{e}{2\pi R} \frac{d\phi}{dt}$$

ଏଠାରେ $\phi = \int \mathbf{B} \cdot d\mathbf{S}$ ପରିମାଣର ଫ୍ଲକ୍ସ ଗତିପଥ ଦ୍ୱାରା ଆବଦ୍ଧ ହେଉଅଛି ।

$\phi = 0$ ବେଳେ ଯଦି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସ୍ଥିରାବସ୍ଥାରୁ ଗତି ଆରମ୍ଭ କରେ, ତେବେ ସଂବେଗ ଲାଭ କରିବ

$$P = \frac{e\phi}{2\pi R}$$

ଅନ୍ୟପକ୍ଷରେ, ଇଲେକ୍ଟ୍ରନକୁ ଧ୍ରୁବ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ Rରେ ଥିବା ଗତିପଥରେ ରଖିବାପାଇଁ ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ରର ମୂଲ୍ୟ ହେବ

$$B_R = \frac{P}{eR}$$

ତେଣୁ ଯଦ

$$B_R = \frac{\phi}{2\pi R^2} \qquad (୨୫.୨୨)$$

ହୁଏ ଅର୍ଥାତ୍ ଯଦ ଗଡପଥଠାରେ ମୂଲ୍ୟ B_R ଗତପଥ ଦ୍ୱାରା ଆବଦ୍ଧ କ୍ଷେତ୍ରରେ Bର ହାରହାର ମୂଲ୍ୟର ଅର୍ଦ୍ଧେକ ହୁଏ, ତେବେ ଆମେ ସର୍ବଦା ଏକ ସାମ୍ୟାବସ୍ଥା ପାଇ ପାରିବା । ଚୁମ୍ବକର ମେରୁଗୁଡ଼ିକୁ ଆବଶ୍ୟକ ଆକାରରେ ନେଇ Bରେ ଦରକାର ଥିବା ପରିବର୍ତ୍ତନ କରି ହେବ । ଆପେକ୍ଷିକତ୍ୱ ଆଲୋଚନାର ସାହାଯ୍ୟ ନନେଇ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ରଭାବରେ ଯେ ବିଟାଟ୍ରନର ସର୍ତ୍ତ [ସମୀକରଣ (୨୫.୨୨)] ପୂରଣ କରାଯାଇପାରିବ, ଏଥିରୁ ସ୍ପଷ୍ଟ ହେଉଛି ଯେ ଏହା ସାହାଯ୍ୟରେ ବହୁ ଉଚ୍ଚ ଶକ୍ତି ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ସବୁ ତ୍ୱରାନ୍ୱିତ ହୋଇପାରିବ । ମିଳୁଥିବା ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ର ଓ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ଦ୍ୱାରା ଶକ୍ତିର ସର୍ବୋଚ୍ଚ ମୂଲ୍ୟ ନିର୍ଦ୍ଧାରିତ ହୋଇଥାଏ ।

(ଛ) ସରଳରୈଖିକ ତ୍ୱରଣକାରୀ :

ସରଳରୈଖିକ ତ୍ୱରଣକାରୀ ମଧ୍ୟ ବାରମ୍ବାର ତ୍ୱରଣ ନୀତି ଅନୁସରଣ କରିଥାଏ, କିନ୍ତୁ କଣିକାଗୁଡ଼ିକୁ ଏକ ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ର ସାହାଯ୍ୟରେ ବକ୍ରପଥ ନକରି ସରଳରେଖା-ମାନଙ୍କରେ ଗତି କରାଯାଇଥାଏ । ଐତିହ୍ୟଗତ ବନ୍ଧିତ ତ୍ୱରଣକାରୀ ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋଡ଼ଗୁଡ଼ିଏ ଗୋଟିଏ ଲମ୍ବା ନଳ ମଧ୍ୟରେ ଅଳ୍ପ ଛଡ଼ାଛଡ଼ାରେ ରଖାଯାଇ ତ୍ୱରଣକୋଶଟି ତିଆରି ହୋଇଥାଏ । ସମସ୍ତ ପ୍ରକୋଷ୍ଠଟି ଗୋଟିଏ ସଂନାଦୀ ଗହ୍ୱର ଏବଂ ଏହା ଏକ ବାହ୍ୟ ଦୋଲକ ସାହାଯ୍ୟରେ ପରିଚାଳିତ । ଏହି ସଂଯୋଜନା ଫଳରେ ସମୟ ଅନୁସାରେ ପରିବର୍ତ୍ତନଶୀଳ ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ର ଅକ୍ଷଦିଗରେ ହିଁ ରହିଥାଏ । ଇଲେକ୍ଟ୍ରୋଡ଼ଗୁଡ଼ିକର ଲମ୍ବା ଏପରି ବାଛିବାକୁ ହେବ ଯେପରି କି, ରେଡ଼ିଓ-ଆବୃତ୍ତି ବଦଳର ଭୁଲ ଚକ୍ର ଥିବା ସମୟରେ ଆୟନ କ୍ଷେତ୍ରହୀନ ଅନ୍ତଃସ୍ଥଳରେ ଗତି କରିବ ଏବଂ ଦୁଇ ସିଲିଣ୍ଡର ମଧ୍ୟସ୍ଥ ଛଡ଼ା ସ୍ଥାନରେ କ୍ଷେତ୍ରଦ୍ୱାରା ତ୍ୱରାନ୍ୱିତ ହେବା ସମୟରେ ହିଁ ଗତି କରିବ । ସରଳରୈଖିକ ତ୍ୱରଣକାରୀଗୁଡ଼ିକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ବା ଗୁରୁକଣିକାମାନଙ୍କ ପାଇଁ ତିଆରି କରି ଯାଇପାରିବ ।

ନିଉକ୍ଲିୟର ପ୍ରକ୍ରିୟା ଓ ନିଉକ୍ଲିୟର ମଡେଲ

କୃତ୍ରିମ ଭାବରେ ତ୍ୱରାନ୍ୱିତ କଣିକାମାନଙ୍କୁ ମିଳାଇବା ଫଳରେ ପର୍ଯ୍ୟାଲୋଚନା କରିବା ପାଇଁ ନିଉକ୍ଲିୟର ପ୍ରକ୍ରିୟା ସବୁ ବହୁ ପରିମାଣରେ ବଢ଼ିଗଲା । ହଜାର ହଜାର ପ୍ରକ୍ରିୟା ପର୍ଯ୍ୟାଲୋଚନା କରାଯାଇଅଛି, ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ଭାବରେ ଲମ୍ବା ଲମ୍ବା କରି କରାଯାଇଛି । ନିମ୍ନ ଅନୁଚ୍ଛେଦଗୁଡ଼ିକରେ ଏହିପରି ଘଟୁଥିବା କେତେକ ପ୍ରକ୍ରିୟା, ସେମାନଙ୍କର ପର୍ଯ୍ୟାଲୋଚନାରେ ବ୍ୟବହୃତ କୌଶଳ ଆଲୋଚନା କରିବା ଏବଂ ଏହିପରି ପର୍ଯ୍ୟାଲୋଚନା ଫଳରେ ନିଉକ୍ଲିୟର ମଡେଲ୍ ସମ୍ବନ୍ଧରେ କ'ଣ ବୁଝାଯାଇପାରିବ, ତା ମଧ୍ୟ ଆଲୋଚନା କରିବା ।

25.10 ନିଉକ୍ଲିୟର ପ୍ରକ୍ରିୟାର ସାଧାରଣ କଥା :

(କ) ପ୍ରକାର ଭେଦ : ଆଘାତ କରିବାପାଇଁ ବ୍ୟବହୃତ ହେଉଥିବା ସାଧାରଣ କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ହେଲା—ପ୍ରୋଟନ, ଡ୍ୟୁଟେରନ ଏବଂ ନିଉଟ୍ରନ । ଡ୍ୟୁଟେରନ ଓ ନିଉଟ୍ରନ— ଏମାନେ କୌଣସି ନିଉକ୍ଲିୟର ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ଉତ୍ପନ୍ନ ହୋଇଥାନ୍ତି । କୃତ୍ରିମ ଭାବରେ ତ୍ୱରାନ୍ୱିତ α କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ମଧ୍ୟ ବହୁ ସମୟରେ ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇଥାନ୍ତି । H^{3} ଆୟନ (ଟ୍ରିଟନ) / C^{8} ଆୟନ ଓ ଏହାଠାରୁ ବଡ଼ ଆୟନ ସବୁ ଅନେକ ସମୟରେ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇଥାଏ । γ-ରଶ୍ମି ଓ x-ରଶ୍ମି ମଧ୍ୟ ସଂଘଟନକାରୀ ଭାବରେ ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇଥାଏ ଏବଂ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଦ୍ୱାରା ଆଘାତ କରି କେତେକ ପ୍ରକ୍ରିୟା ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣ କରାଯାଇଅଛି । ସାଧାରଣ ଭାବରେ କହିଲେ, ମଝାମଝି ଆଘାତକାରୀ କ୍ରମରେ – 10 ମି. ଇ. ଭୋ.ରୁ କମ । ନିଉକ୍ଲିୟର ପ୍ରକ୍ରିୟା ଫଳରେ ଦୁଇଟି କଣିକା ଉତ୍ପନ୍ନ ହୋଇଥାଏ; ଆଗରୁ ବୁଝାଯାଉଥିବା କଣିକାମାନଙ୍କ ପରି ଗୋଟିଏ ଲଘୁ କଣିକା ଓ ଗୋଟିଏ ଗୁରୁ କଣିକା । ଗୁରୁ କଣିକାଟିକୁ ନିଉକ୍ଲିୟରର ଅବଶିଷ୍ଟାଂଶ ବୋଲି ବୁଝାଯାଏ । କେବେକେବେ ତିନୋଟି କଣିକା ଉତ୍ପନ୍ନ ହୋଇଥାଏ ଓ ଉଚ୍ଚଶକ୍ତିରେ ଅଧିକା କଣିକା ସମ୍ଭବ ହୋଇଥାଏ । ସକଳ ନିଉକ୍ଲିୟର ପ୍ରକ୍ରିୟାଗୁଡ଼ିକ ଧାରଣରେ କେଉଁ ସମୟରେ ବର୍ଣ୍ଣନ କରିବାପାଇଁ ନିମ୍ନଧାର ସଙ୍କେତଗୁଡ଼ିକ ହୁଅଗଲା ।

(୧) ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ବିଚ୍ଛୁରଣ : ଆପତନ କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ଲକ୍ଷ୍ୟ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସକୁ ଆଘାତ କରି ଏକ ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ସଂଘର୍ଷ ଘଟାଇବେ । ଯେଉଁ ଅକ୍ଷ ପ୍ରଣାଳୀରେ ଲକ୍ଷ୍ୟ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ପ୍ରଥମରୁ ସ୍ଥିର ଅବସ୍ଥାରେ ରହିଥିବ, ସେହି ଅକ୍ଷପ୍ରଣାଳୀରେ (ଲାବରେଟୋରି ଅକ୍ଷ ପ୍ରଣାଳୀ) ବିକ୍ଷେପିତ କଣିକା ଶକ୍ତି ହରାଏ, କାରଣ ଲକ୍ଷ୍ୟ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ଅପସରଣ ଘଟିଥାଏ । ବ କେନ୍ଦ୍ର ପ୍ରଣାଳୀରେ ଅର୍ଥାତ୍ ଯେଉଁ ଅକ୍ଷ ପ୍ରଣାଳୀରେ ବସ୍ତୁ ଦୁଇଟି ପରସ୍ପର ନିକଟକୁ ଆସିବାବେଳେ, ସେମାନଙ୍କର ବସ୍ତୁତ୍ୱକେନ୍ଦ୍ର ସ୍ଥିର ରହିଥାଏ, ସେଥିରେ କୌଣସି ଶକ୍ତି ସ୍ଥାନାନ୍ତରିତ ହୁଏନାହିଁ ।

(୨) ଅସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ବିଚ୍ଛୁରଣ : ପ୍ରକ୍ରିୟା ସଂଘଟିତ ହେବା ପରେ ଆପତନ କଣିକା ଅପେକ୍ଷାକୃତ ଅଳ୍ପ ଶକ୍ତିରେ ଦେଖାଦିଏ; ଏହାର ଶକ୍ତିରୁ କିଛି ଅଂଶ ଲକ୍ଷ୍ୟ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ନେଇଯାଏ । ଏହା ଫଳରେ ଲକ୍ଷ୍ୟ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ଉଚ୍ଚତର କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାକୁ ଉତ୍ତେଜିତ ହୋଇଥାଏ, ଗୋଟିଏ ଉଦାହରଣ ହେଲା,



$$Li^{7} + H^{1} \to Li^{7*} + H^{1}$$

ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ଅବଶିଷ୍ଟାଂଶ ଗୋଟିଏ ଉତ୍ତେଜିତ ଅବସ୍ଥାରେ ରହିଅଛି ବୋଲି ତାରକା ଚିହ୍ନ ସୂଚାଉଅଛି । ଉପରୋକ୍ତ ଉଦାହରଣରେ ପରେ ଏହି ଅଧିକ ଶକ୍ତି ଗୋଟିଏ γ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଆକାରରେ ବିକିରିତ ହୋଇଥାଏ ।

(୩) ସରଳ ବନ୍ଧନ . ଆପତନ କଣିକାଟି ଲକ୍ଷ୍ୟ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ଦ୍ୱାରା ବନ୍ଧିତ ହୁଏ ଓ ଗୋଟିଏ ନୂତନ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ଗଠନ ହୁଏ । ପ୍ରାୟ ସବୁବେଳେ ଅବଶିଷ୍ଟ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ବହୁତ ଅଧିକ ଶକ୍ତି ରହିଥାଏ, ତେଣୁ ଏଥିରୁ ଗୋଟିଏ ବା ଅଧିକ ଗାମାକ୍ୱାଣ୍ଟମ ବାହାରିଥାଏ । ଗୋଟିଏ ଉଦାହରଣ ହେଲା,



$$C^{12} + H^{1} \to (N^{13}) \to N^{13} + \gamma$$

ଏଠାରେ ଚନ୍ଦ୍ରବନ୍ଧନୀ ସୂଚାଉଛି ଯେ, ବନ୍ଧନୀର ଦିଆଯାଉଥିବା ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସଟି ଉତ୍ତେଜିତ ଅବସ୍ଥାରେ ରହିଅଛି ଏବଂ ଏହାର ଶକ୍ତିରେ ଅଧିକାଂଶ ପ୍ରକ୍ରିୟାର ପ୍ରାଥମିକ ଅବସ୍ଥାଦ୍ୱାରା ନିର୍ଦ୍ଧାରିତ ହୋଇଅଛି ।

ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଭାବରେ କହିଲେ, ଉଚ୍ଚ ଆଣବିକ ସଂଖ୍ୟା ବିଶିଷ୍ଟ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କରେ ବହୁତ ସମୟରେ ଦୁଇ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାନ୍ତରବେଳେ ଅଧିକ ଶକ୍ତି ଗୋଟିଏ ପାରମାଣବିକ

ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ଦ୍ୱାରା ସିଧାସଳଖ ହୋଇଥାଏ, ଏଥିରେ ମଧ୍ୟସ୍ତରରେ ଗୋଟିଏ γ ରଶ୍ମି ଉତ୍ପନ୍ନ ହେବାର ଆବଶ୍ୟକତା ନଥାଏ । ଏହି ପ୍ରଣାଳୀକୁ 'ଅନ୍ତଃପରିବର୍ତ୍ତନ' କୁହାଯାଏ । ଏତେବେଳେ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ଅବାନ୍ତର ସହ ସମ୍ପୃକ୍ତ ଦୋଳାଙ୍କମାନ ବହିଃକେନ୍ଦ୍ରକକ୍ଷେତ୍ର ପାରମାଣବିକ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ସହିତ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଦ୍ୱାରା ପରମାଣୁର ଅୟନୀ-କରଣ ଘଟାଇଥାଏ । ସାଧାରଣ ଆଲୋକବିଦ୍ୟୁତ ପ୍ରଭାବରେ ଘଟିବାଭଳି ଏହି ଅବସ୍ଥାନ୍ତର ଶକ୍ତି, ଅପସାରିତ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନର ଶକ୍ତି ଏବଂ ପରମାଣୁରେ ଏହାର ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତିର ଯୋଗଫଳ । ଏହିପରି ଉତ୍ପନ୍ନ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ରେଖାଗୁଡ଼ିକ ଅତି ତୀକ୍ଷ୍ଣ ଏବଂ ଏଗୁଡ଼ିକ ବହୁଳ ଭାବରେ ଗୁରୁ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କର ଶକ୍ତିସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ସ୍ଥିର କରିବାରେ ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇଅଛି । ଏକା ଅବସ୍ଥାନ୍ତରବେଳେ ସୃଷ୍ଟ ଦୁଇ ଅନ୍ତଃପରିବର୍ତ୍ତନ ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ରେଖାର ତୁଳନା କରି (ଯଥା— K ଓ L=ପ୍ରକୋଷ୍ଠର ପରିବର୍ତ୍ତନ ଦ୍ୱାରା ଘଟିଥିବା ରେଖାସବୁ) ପାରମାଣବିକ ବନ୍ଧନଶକ୍ତିରେ ତାରତମ୍ୟ ସ୍ଥିର କରିହେବ ଓ X – ରଶ୍ମିରୁ ମିଳିଥିବା ଜଣା ମୂଲ୍ୟ ସହିତ ତୁଳନା କରି ବିଚ୍ଛୁରଣ କରୁଥିବା ପରମାଣୁକୁ (ଏହାର Z) ଚିହ୍ନା ଯାଇ ପାରିବ । ଏହି ପ୍ରଣାଳୀ ଅନୁସରଣ କରି ବିଘଟନର ପୂର୍ବରୁ ନା ପରେ ଅବସ୍ଥାନ୍ତର ଘଟିଛି, ସ୍ଥିର କରାଯାଇ ପାରିବ । ଗୋଟିଏ ଦତ୍ତ ଶକ୍ତିରେ ଅବସ୍ଥାନ୍ତର ଫଳରେ ଅନ୍ତଃପରିବର୍ତ୍ତନ ହେଉଥିବା ଘଟଣାସଂଖ୍ୟା ଓ ଗାମାରଶ୍ମି ଉତ୍ପନ୍ନ ହେଉଥିବା ଘଟଣା ସଂଖ୍ୟାର ଅନୁପାତକୁ ଅନ୍ତଃପରିବର୍ତ୍ତିତାଙ୍କ α କୁହାଯାଏ । ପ୍ରାକୃତିକ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କରେ ସାଧାରଣତଃ α 10^{-4} ଓ 10^{-1} ପରିସର ମଧ୍ୟରେ ରହିଥାଏ । ତେବେ, ଯେତେବେଳେ γ ବିକିରଣ ନିଷିଦ୍ଧ ହୋଇଥାଏ ବା ଅତିମାତ୍ରାରେ ନିରୁତ୍ସାହିତ ହୋଇଥାଏ, ଉଦାହରଣ-ସ୍ୱରୂପ ଯେତେବେଳେ ପ୍ରାରମ୍ଭିକ ଓ ଶେଷ ଅବସ୍ଥା ମଧ୍ୟରେ କୌଣିକ ସଂବେଗର ତାରତମ୍ୟ କେତେକ ଏକକ ହୋଇଥାଏ, ସେହି କେତେକ ଘଟଣାରେ ଅନ୍ତଃପରିବର୍ତ୍ତିତାଙ୍କ 10ରୁ ବହୁତ ଅଧିକ ହୋଇଥାଏ । କୌଣସି ଦତ୍ତ ଅବସ୍ଥାନ୍ତର ପାଇଁ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ତତ୍ତ୍ୱ ଅନୁସାରେ ବିଭିନ୍ନ କୌଣିକ ସଂବେଗର ପରିବର୍ତ୍ତନ ପାଇଁ ସମ୍ଭାବ୍ୟ ଅନ୍ତଃପରିବର୍ତ୍ତିତାଙ୍କ ହିସାବ କରିବା ସମ୍ଭବ, ତେଣୁ ପରୀକ୍ଷାରୁ α ମୂଲ୍ୟ ନିର୍ଦ୍ଧାରଣ କଲେ ସେଥିରେ ସମ୍ପୃକ୍ତ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ବହୁ ପ୍ରଧାନ ପ୍ରଧାନ ତଥ୍ୟ ମିଳିପାରିବ । Po^{214}ରେ ଗୋଟିଏ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ଘଟଣା ଘଟେ । ଏଥିରେ 1·41 ମି. ଇ. ଭୋ.ର

ଗୋଟିଏ ଉତ୍ତେଜିତ ଅବସ୍ଥାରୁ ମୂଳ ଅବସ୍ଥାକୁ କେବଳ ଅନ୍ତଃପରିବର୍ତ୍ତନଦ୍ୱାରା ଅବସ୍ଥାନ୍ତର ଘଟିଥାଏ; ଏପରି ଅବସ୍ଥାନ୍ତରରେ କେବେହେଲେ γ ରଶ୍ମି ଦେଖାଯାଏନାହିଁ । ଏଠାରେ ପ୍ରାରମ୍ଭିକ ଓ ଶେଷ ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କରେ ମୋଟ କୌଣିକ ସଂବେଗ ଶୂନ୍ୟ ହୋଇଥିବାରୁ ଏପରି ଘଟିଥାଏ ବୋଲି ବିଶ୍ୱାସ କରିବାର ଯଥେଷ୍ଟ କାରଣ ରହିଅଛି. ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଶୂନ୍ୟ ଯୁକ୍ତ ଅବସ୍ଥା ମଧ୍ୟରେ ଏକ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ବିଦ୍ୟୁତ୍‌ଚୁମ୍ବକ ଅବସ୍ଥାନ୍ତର ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣଭାବେ ନିଷେଧ ।

(୪) ବିଘଟନ : ଲକ୍ଷ୍ୟ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସକୁ ଆଘାତ କରି ଅପତନ କଣିକାଟି ଶୋଷିତ ହେବ ଓ ଏକ ଭିନ୍ନ କଣିକା ସେଥିରୁ ନିଷ୍କାସିତ ହେବ । ବେରିଲିୟମକୁ α କଣିକାଦ୍ୱାରା ଆଘାତ କରି ନ୍ୟୁଟ୍ରନ ଉତ୍ପନ୍ନ କରିବା, ଏହାର ଏକ ଉଦାହରଣ ।



$$Be^{9} + He^{4} \rightarrow C^{12} + n^{1}$$

(୫) ଆଲୋକ ଉତ୍ତେଜନ ଓ ଆଲୋକ ବିଘଟନ : ଗୋଟିଏ γ ରଶ୍ମି ଲକ୍ଷ୍ୟ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ଦ୍ୱାରା ଶୋଷିତ ହୋଇ ଏହା ଭିତରର କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାକୁ ଉତ୍ତେଜିତ କରେ । ଯଦି ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ପର୍ଯ୍ୟାପ୍ତ ହୁଏ ତେବେ ଗୋଟିଏ କଣିକା ନିଷ୍କାସିତ ହୋଇପାରେ । ଡ୍ୟୁଟେରନର ଆଲୋକ ବିଘଟନ 2·225 ମି. ଇ. ଭୋ. ଦରକାର କରିଥାଏ । ଏହା ଏହି ପ୍ରକ୍ରିୟାର ଏକ ଉଦାହରଣ ।



$$H^{2} + \gamma \rightarrow H^{1} + n^{1}$$

ତଥାକଥିତ କୁଲମ୍ବ ଉତ୍ତେଜନ ଅନେକ ଉତ୍ତେଜନର ଏକ ବିଶେଷ ଘଟଣା । ଏଥିରେ ଗୋଟିଏ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ନିକଟରେ ଗୋଟିଏ ଚାର୍ଜଯୁକ୍ତ କଣିକା ଗତି କରିବାଦ୍ୱାରା ପରିବର୍ତ୍ତିତ ବିଦ୍ୟୁତ କ୍ଷେତ୍ର ସାହାଯ୍ୟରେ ଭିତରର ଅବସ୍ଥା ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଥାଏ ।

(୬) ଅଜ୍ଞାତ କଣିକା ସୃଷ୍ଟି : ଉଚ୍ଚ ଶକ୍ତି ପ୍ରକ୍ରିୟାମାନଙ୍କରେ ମେସନ, ହାଇପରନ୍‌ସ ଏବଂ ପ୍ରୋଟନ ଓ ନ୍ୟୁଟ୍ରନର ପ୍ରତିକଣିକା ସୃଷ୍ଟି ହୋଇପାରେ । ଏହି କଣିକାଗୁଡ଼ିକୁ ବ୍ୟବହାର କରି ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁକୁ ଆଘାତ କରିବାଦ୍ୱାରା ଅଧିକ ଅଧିକ ପ୍ରକ୍ରିୟା ସବୁ ଘଟିଥାଏ । ସମସ୍ତ ମେସନ ଓ ହାଇପରନ କଣାର ଅଜ୍ଞାତ ବସ୍ତୁସବୁ ଲାବରେଟରୀରେ ଉଚ୍ଚଶକ୍ତି ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ପ୍ରକ୍ରିୟାମାନଙ୍କରେ ମିଳିଥାଏ ।

(୭) ପ୍ରାକୃତିକ ବିନାଶ : β ଓ α ବିନାଶ ପ୍ରଣାଳୀ ସବୁ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ପ୍ରକ୍ରିୟା ଭଳିରେ ବିବେଚିତ ହୋଇପାରେ । ଏହି ବିନାଶ ପ୍ରଣାଳୀରେ ନିହିତ ସମସ୍ତ ଶକ୍ତି

ପରୀକ୍ଷକର ଆୟତ୍ତାଧୀନ ନୁହେଁ; ପୂର୍ବ ପ୍ରଣାଳୀମାନଙ୍କଠାରୁ ଏହି ପ୍ରଣାଳୀର ଏତିକି ମାତ୍ର ପ୍ରଭେଦ ।

(ଖ) **ଲେଖା ପ୍ରଣାଳୀ:** ନିଉକ୍ଲିୟସ ପ୍ରତିକ୍ରିୟାକୁ ପ୍ରକାଶ କରିବାପାଇଁ କୌଣସି ସଂକ୍ଷିପ୍ତ ଲେଖାପ୍ରଣାଳୀ ବ୍ୟବହାର କରିବା ସୁବିଧାଜନକ । ଗୋଟିଏ ସାଧାରଣ ବ୍ୟବହୃତ ପ୍ରଣାଳୀ ତଳେ ଦିଆଗଲା;

$$X^{A} (a, b) Y^{A'}$$

ଏଠାରେ X^A ଓ $Y^{A'}$ ଯଥାକ୍ରମେ ପ୍ରାରମ୍ଭିକ ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁ ଓ ଅବଶିଷ୍ଟ ନିଉକ୍ଲିୟସର ପରମାଣୁକ ଅଙ୍କ ଓ ବସ୍ତୁତ୍ୱସଂଖ୍ୟା ସୂଚାଉଛନ୍ତି; a ଓ b ଆପତନ (ଆଘାତକାରୀ) ଓ ପ୍ରତିସରଣ କଣିକାସବୁ ସୂଚାଉଛନ୍ତି । ରେଥରଫୋର୍ଡ ପ୍ରଥମେ ପର୍ଯ୍ୟାଲୋଚନା କରିଥିବା ପ୍ରତିକ୍ରିୟାକୁ (ଅନୁ. ୬୫.୧) ଲେଖିବା

$$N^{14} (\alpha, p) O^{17}$$

କୌଣସି ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ଘଟଣାକୁ

$$X^{A} (\beta^{\mp}) Y^{A}$$

ଆକାରରେ ଲେଖାଯାଇପାରେ । ଉଦାହରଣସ୍ୱରୂପ,

$$P^{30} (\beta^{+}) Si^{30}$$

ନିଉଟ୍ରିନୋର ତାତ୍କାଳିକ ନିର୍ଗମନକୁ ସାଧାରଣତଃ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଏନାହିଁ । ଯେଉଁ ପ୍ରତିକ୍ରିୟାରେ ଅବଶିଷ୍ଟ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଉତ୍ତେଜିତ ଅବସ୍ଥାରେ ଓ ପରେ ସେଥିରୁ γ ବିକିରଣ ଘଟିଥାଏ, ତାହା ଦୁଇ ସ୍ତରରେ ଲେଖାଯାଏ;

$$N^{14} (\alpha, P) O^{17*} \qquad O^{17*} (\gamma) O^{17}$$

ବା ସଂକ୍ଷେପରେ

$$N^{14} (\alpha, P\gamma) O^{17}$$

ବୋଲି ମଧ୍ୟ ଲେଖାଯାଇଥାଏ ।

(ଗ) ସଂରକ୍ଷଣ **ନିୟମାବଳୀ**. ଯେକୌଣସି ନିଉକ୍ଲିୟସର ପ୍ରତିକ୍ରିୟାରେ କେତେକ ରାଶି ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ସଂରକ୍ଷିତ ହେବେ;

୧ । ଉତ୍ପନ୍ନ ଦ୍ରବ୍ୟମାନଙ୍କର ମୋଟ ଶକ୍ତି, ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଶକ୍ତି ଓ ଗତିଜ ଶକ୍ତି ସହିତ ବିକିରିତ ହେଉଥିବା କୌଣସି γ ରଶ୍ମି ବା ନିଉଟ୍ରିନୋ ଥିଲେ ତାକୁ ମଧ୍ୟ ମିଶାଇ

ମୋଟ ଶକ୍ତି, ଅର୍ଥାତ୍ ପ୍ରାରମ୍ଭିକ ଦ୍ରବ୍ୟମାନଙ୍କର ବସ୍ତୁତ୍ୱଶକ୍ତି ଓ ଆଘାତକାରୀ କଣିକା ଆଣିଥିବା ଗତିଜଶକ୍ତିର ଯୋଗଫଳ ସହିତ ସମାନ ହେବ । (ଲକ୍ଷ୍ୟ ନଉକ୍ଲୃସକୁ ସାଧାରଣତଃ ସ୍ଥିର ବୋଲି ନିଆଯାଇଥାଏ) ।

୨ । ଉତ୍ପନ୍ନ ଦ୍ରବ୍ୟମାନଙ୍କର ମୋଟ ସରଳ ରୈଖିକ ସଂବେଗ ଆଘାତକାରୀ କଣିକା ଆଣିଥିବା ସଂବେଗ ସହିତ ସମାନ ହେବ ।

୩ । ମୋଟ ବଦ୍ୟୁତ୍ ଚାର୍ଜ ସଂରକ୍ଷିତ ହୁଏ ।

୪ । ନେଉକ୍ଲିଅନର ମୋଟ ସଂଖ୍ୟା ଧ୍ରୁବ ରହେ ।

୫ । ମୋଟ କୌଣିକ ସଂବେଗ J ଅର୍ଥାତ୍ ଅନ୍ତରସ୍ଥ କୌଣିକ ସଂବେଗ I (ଘୂର୍ଣ୍ଣନ) ଓ କଣିକାମାନଙ୍କର ଆପେକ୍ଷିକ ଅକ୍ଷୀୟ ସଂବେଗ Lର ଭେକ୍ଟର ଯୋଗଫଳ ସଂରକ୍ଷିତ ହୁଏ । ଯଦି ଦୁଇଟି କଣିକା ମୁହାଁମୁହିଁ ବାଧା ପାନ୍ତି, ସେମାନଙ୍କର କୌଣସି ଅକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗ ନଥାଏ, ଏବଂ Jର ମୂଲ୍ୟ ଦୁଇ ଅନ୍ତରସ୍ଥ ଘୂର୍ଣ୍ଣନର ଭେକ୍ଟର ଯୋଗଫଳ ଦ୍ୱାରା ମିଳିଥାଏ । କଡ଼ରେ ଛୁଇଁବା ପରି ଅଘାତ ହେଲେ ଅକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗ ରହେ ଏବଂ ଏହା ଦୁଇ I ସଙ୍ଗେ ଯୋଗ ହେଲେ (ପୁଣି ସେହି ଭେକ୍ଟର ରୂପେ) ମୋଟ କୌଣିକ ସଂବେଗ I ମିଳିଥାଏ । ସାଧାରଣ ଭାବରେ, ଅପତନ ରଶ୍ମିପୁଞ୍ଜରେ ଥିବା କଣିକା ସବୁକୁ ଗୋଟିଏ ସମତଳ ତରଙ୍ଗ ରୂପେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇଥାଏ ଓ ଏହାକୁ ଉଚ୍ଚନ୍ନ ଦ୍ୱାଶମୀଭୂତ ଅକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗ ପ୍ରକାଶ କରୁଥିବା ସଂଯୋଜକରେ ବ୍ୟକ୍ତ କରାଯାଇଥାଏ ।

୬ । ସମସ୍ତ ମଣ୍ଡଳର (ପାରିଟି (ଅନୁ. ୨୫·୩) ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ପ୍ରତି ସ୍ତରରେ ସଂରକ୍ଷିତ ହୋଇଥାଏ । ଏହି ପାରିଟି ଲକ୍ଷ୍ୟ ନଉକ୍ଲୃସ ଓ ଆଘାତକାରୀ କଣିକା ଦ୍ୱାରା ସ୍ଥିରୀକୃତ ହୋଇଥାଏ । ପ୍ରାରମ୍ଭିକ ମଣ୍ଡଳଟି ହେଲା ଲକ୍ଷ୍ୟ ନଉକ୍ଲୃସ ଓ କୌଣସି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଅକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗରେ ଏହାର ନିକଟତର ହେଉଥିବା ଆଗନ୍ତୁକ କଣିକା । ଯଦି ସ୍ଥାନାଙ୍କଚିହ୍ନକୁ ଓଲଟାଇଦେଲେ ଏହି ଅବସ୍ଥାକୁ ପ୍ରକାଶ କରୁଥିବା ତରଙ୍ଗଫଳନ ଅପରିବର୍ତ୍ତିତ ରହେ, ତେବେ ପାରିଟି ଯୁଗ୍ମ ହୁଏ, ଯଦି ତରଙ୍ଗଫଳନର ଚିହ୍ନ ବଦଳେ, ତେବେ ପାରିଟି ଅଯୁଗ୍ମ ହୁଏ । ଏହାପରେ ଏହି ମଣ୍ଡଳର ପାରିଟି (+1 ଯୁଗ୍ମ ପାରିଟି ପାଇଁ ଓ −1 ଅଯୁଗ୍ମ ପାରିଟି ପାଇଁ) ଲକ୍ଷ୍ୟ

ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ, ଆଘାତକାରୀ କଣିକା ଅନ୍ତରସ୍ଥ ଫାଟଟିମାନଙ୍କର ଓ ଅକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗର L ର ଗୁଣଫଳ ହୋଇଥାଏ । ଯୁଗ୍ମ L ପାଇଁ ଅବଦାନ +1 ଓ ଅଯୁଗ୍ମ L ପାଇଁ ଏହି ଅବଦାନ −1

(ଘ) ନିଉକ୍ଲିୟର ପ୍ରକ୍ରିୟାର ଗଣତନ୍ତ୍ର :

ଗୋଟିଏ ସାଧାରଣ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ଶକ୍ତି ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାକୁ ପ୍ରକାଶ କରିବା;

$$M_0c^2 + M_1c^2 + E_1 = M_2c^2 + M_3c^2 + E_2 + E_3 \qquad (୨୫·୨୩)$$

ଏଠାରେ M_0 = ଲକ୍ଷ୍ୟ କଣିକାର ଠିକ୍ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ।

M_1 = ଆଘାତକାରୀ କଣିକାର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ।

M_2 = ଉତ୍ସାରିତ କଣିକାର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ।

M_3 = ଅବଶିଷ୍ଟ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ।

E_1, E_2, E_3 = ସେହି ସେହି କଣିକାମାନଙ୍କର ଗତିଜ ଶକ୍ତି

$$M_0 + M_1 = M_2 + M_3 + \frac{Q}{c^2} \qquad (୨୫·୨୪)$$

ଅତଏବ

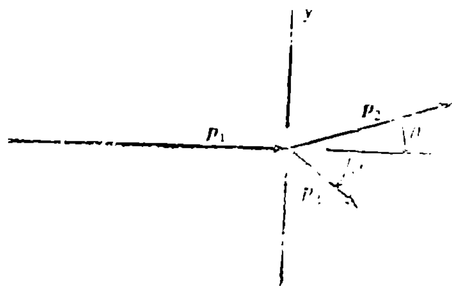
$$Q = E_2 + E_3 - E_1 \qquad (୨୫·୨୫)$$

ଯଦି Q ଯୁକ୍ତ ହୁଏ, ତେବେ ପ୍ରକ୍ରିୟାଟି ଶକ୍ତି ଉତ୍ପାଦନ ଅର୍ଥାତ୍ ଏହି ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ଶକ୍ତି ଉତ୍ପନ୍ନ ହୋଇଥାଏ; ଯଦି Q ବିଯୁକ୍ତ ହୁଏ, ପ୍ରକ୍ରିୟାଟି ଶକ୍ତିଶୋଷୀ ଓ ଶକ୍ତି ଶୋଷିତ ହୋଇଥାଏ । Q ର ପରିମାପ ସ୍ଥାୟୀ କଣିକାମାନଙ୍କର ବସ୍ତୁତ୍ୱଗୁଡ଼ିକ ନିରୂପଣ କରିବାପାଇଁ ଓ ନିଉଟ୍ରନ ପରି ଅସ୍ଥାୟୀ କଣିକାମାନଙ୍କର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସ୍ଥିର କରିବାପାଇଁ ଆବଶ୍ୟକ ହୋଇଥାଏ । ପୂର୍ବୋକ୍ତ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ନିରୂପଣ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରୋମିଟର ଦ୍ୱାରା ନିରୂପିତ ବସ୍ତୁତ୍ୱର ସଠିକତା ସ୍ଥିର କରିବାରେ ସାହାଯ୍ୟ କରିଥାଏ । ଏହାଛଡ଼ା ଯଦି କୌଣସି ଅବଶିଷ୍ଟ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ଉତ୍ତେଜିତ ଅବସ୍ଥାରେ ମିଳିଥାଏ, ତେବେ ସେହି ସ୍ତରର ଶକ୍ତି ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରିବାରେ ମଧ୍ୟ Q ର ପରିମାପ ସାହାଯ୍ୟ କରିଥାଏ ।

କୌଣସି ପରୀକ୍ଷାରେ Q ର ମୂଲ୍ୟ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରିବାପାଇଁ ଆଘାତକାରୀ ଶକ୍ତି E_1 ଓ କୌଣସି କୋଣ θ ରେ ଉତ୍ସାରିତ ହେଉଥିବା କଣିକାର ଶକ୍ତି E_2 ମାପ କରାଯାଇଥାଏ

ତାପରେ ସଂବେଗ ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମ ବ୍ୟବହାର କରି Qର ମୂଲ୍ୟ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଏ । ଗୋଟିଏ ସାଧାରଣ ପ୍ରକ୍ରିୟାର ସଂବେଗ ଚିତ୍ର (ଚିତ୍ର ୧୫·୧୪)ରେ ଦର୍ଶାଯାଇଅଛି । ଆମେ ପାଉ,

$$P_{1x} = P_{2x} + P_{3x} \qquad 0 = P_{2y} + P_{3y} \quad E_1 = E_2 + E_3 - Q$$



[ଚିତ୍ର ୧୫·୧୪ ଗୋଟିଏ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ପ୍ରକ୍ରିୟା ପାଇଁ ସଂବେଗ ଚିତ୍ର । ଅପତନ କଣିକାର ସଂବେଗ P_1, ବହିର୍ଗତ କଣିକାର ସଂବେଗ P_2 ଓ ଅବଶିଷ୍ଟ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ସଂବେଗ P_3]

ବା ଯେହେତୁ $P=\sqrt{2mE}$ ଅଣାପେକ୍ଷିକୀୟ ଘଟଣାରେ

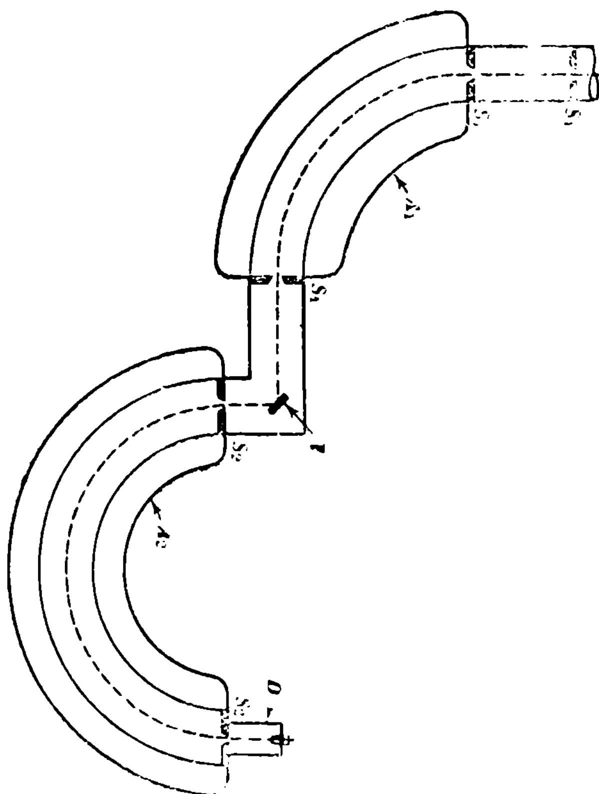
$$\sqrt{2m_1 E_1} = \sqrt{2M_2E_2}\cos\theta + \sqrt{2m_3 E_3}\cos\phi$$

$$0 = \sqrt{2M_2 E_2}\sin\theta + \sqrt{2M_3 E_3}\sin\phi$$

E_1, E_2 ଓ ବସ୍ତୁତ୍ୱଗୁଡ଼ିକ ବ୍ୟବହାର Qର ମୂଲ୍ୟ ପାଇବାପାଇଁ ଆମେ ϕ ଓ E_3କୁ ବିଲୁପ୍ତ କରିବା ।

$$Q = E_1\frac{M_1 - M_3}{M_3} + E_2\frac{M_2 + M_3}{M_3} - \frac{2}{M_3}(M_1 M_2 E_1 E_2)^{\frac{1}{2}}\cos\theta \qquad (୧୫·୧୭)$$

ବସ୍ତୁତ୍ୱ M ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଂଖ୍ୟା Aଠାରୁ 1%ରୁ ଅଧିକ ପ୍ରଭେଦ ନ ହୋଇଥିବାରୁ, ସମୀକରଣ (୧୫·୧୭)ରେ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଂଖ୍ୟା ବ୍ୟବହାର କରିବା ଯଥେଷ୍ଟ ନିର୍ଭୁଲ ହୋଇଥାଏ । ମହାମତି



[ଚିତ୍ର ୨୫.୧୫ Q ମୂଲ୍ୟ ମାପ କରିବାପାଇଁ ବ୍ୟବସ୍ଥା । ଆପତନ କଣିକାସବୁ ଚୁମ୍ବକ A_1 ଦ୍ୱାରା ବିଶ୍ଳେଷିତ ହୁଏ, ଲକ୍ଷ୍ୟ Tକୁ ଆଘାତ କରେ; ନିଷ୍କାସିତ କଣିକାଗୁଡ଼ିକ A_2 ଦ୍ୱାରା ବିଶ୍ଳେଷିତ ହୁଏ]

ଶକ୍ତି ନେଇ କାର୍ଯ୍ୟ କଲାବେଳେ ଆପେକ୍ଷିକୀୟ ସଂଶୋଧନ କ୍ୱଚିତ ଦରକାର ହୋଇଥାଏ ।

ଚିତ୍ର ୨୫.୧୫ରେ ଏହି ପ୍ରକାରର ପରୀକ୍ଷା ପାଇଁ ଯନ୍ତ୍ରପାତିର ସଜ୍ଜା ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । କୌଣସି ପ୍ରକାରର ତ୍ୱରଣକାରୀରେ ଉତ୍ପାଦିତ ଏକ କଣିକା-ରଶ୍ମିପୁଞ୍ଜ ବିଶ୍ଳେଷକ A_1ରେ ପ୍ରବେଶ କରି T ଲକ୍ଷ୍ୟକୁ ଆଘାତ କରିବା ପୂର୍ବରୁ 90° ବିକ୍ଷେପିତ ହୋଇଥାଏ । S_1 ଛିଦ୍ରଶ୍ରେଣୀ ଦ୍ୱାରା ରଶ୍ମିପୁଞ୍ଜର ଗତିପଥ ସ୍ଥିରୀକୃତ ହୋଇଥାଏ । A_1ରେ ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ର ମାପ କରି କଣିକାଗୁଡ଼ିକର ଶକ୍ତି ନିରୂପିତ ହୋଇଥାଏ । ଲକ୍ଷ୍ୟ Tରେ ଉତ୍ପନ୍ନ

ହୋଇଥିବା କଣିକାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ଯେଉଁଗୁଡ଼ିକ $\theta = 90°$ରେ ବାହାରୁଥାନ୍ତି, ସେଥିରୁ କେବେଳ ଚୁମ୍ବକୀୟ ସେକ୍ଟୋମିଟର A_2ରେ ପ୍ରବେଶ କରନ୍ତି । A_2ରେ ଥିବା ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ର କଣିକାଗୁଡ଼ିକୁ S_2 ଛିଦ୍ରଶ୍ରେଣୀ ମଧ୍ୟରେ ଗତି କରାଇବାପାଇଁ ଦରକାର ହୋଇଥାଏ । ତା'ପରେ କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ସଂସ୍ଥାପକ Dରେ ପ୍ରବେଶ କରନ୍ତି । A_2ରେ ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ରର ପରିମାପ E_2 (90°) ଅର୍ଥାତ୍ $\theta = 90°$ରେ ନିଷ୍କାସିତ କଣିକାମାନଙ୍କର ଶକ୍ତି ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରିବାରେ ସାହାଯ୍ୟ କରିଥାଏ । ନିୟମ ଅନୁସାରେ, ଥରେ ଜ୍ୟାମିତି ସ୍ଥିର ହୋଇଗଲେ, କେବଳ ଦୁଇଟି ଚୁମ୍ବକକ୍ଷେତ୍ର ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରିବାଦ୍ୱାରା Qର ମୂଲ୍ୟ ସ୍ଥିର ହୋଇଥାଏ ।

ସ୍ୱର୍ଜ୍ୟୁକ୍ତ କଣିକା ଉତ୍ପନ୍ନ କରୁଥିବା ନଉକ୍ଲିୟର ପ୍ରକ୍ରିୟାମାନଙ୍କ ପାଇଁ Qର ମୂଲ୍ୟ ଆଧୁନିକ କୌଶଳରେ 0·05% ବା ତା'ଠାରୁ ଅଧିକ ସୂକ୍ଷ୍ମତାରେ ନିର୍ଣ୍ଣିତ ହୋଇ ପାରୁଅଛି । ଏହିପରି ସଠିକ୍ ଭାବରେ ବହୁ Q ମୂଲ୍ୟ ଏପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ସ୍ଥିର ହୋଇସାରିଛି । ବିଭିନ୍ନ ଲାବରେଟରୀରେ ନିର୍ଣ୍ଣିତ Q ମୂଲ୍ୟର ମେଳ ଗୋଟିଏ ଉଦାହରଣରେ ଦେଖାଇବାପାଇଁ ଟେବୁଲ 25·1ରେ Li^7 (P, α) He^4 ପ୍ରକ୍ରିୟାର Q ମୂଲ୍ୟକୁ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଏହି ଚାରିଗୋଟି ମୂଲ୍ୟରେ ହାରାହାରି ପ୍ରଭେଦ 10,000ରେ 3ଠାରୁ କମ୍ ।

ଟେବୁଲ 25·1 Li^7 (P, α) He^4 ପାଇଁ Q ମୂଲ୍ୟ

Q, MeV	ନିର୍ଣ୍ଣୟକାରୀ ସ୍ଥାନ
17·338±0·011	California Institute of Technology
17·340±0·014	Massachusetts Institute of Technology
17·352±0·009	University of Birmingham (England)
17·344±0·013	Rice Institute

(ଡ) ବସ୍ତୁତ୍ୱ ନିରୂପଣ

Q ମୂଲ୍ୟର ଉଚ୍ଚ ସୂକ୍ଷ୍ମ ନିରୂପଣ ପରି ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ Q ମୂଲ୍ୟ ନିରୂପିତ ହେବା ଫଳରେ ପ୍ରକୃତରେ ଗମିଳୁଥିବା ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ନଉକ୍ଲିୟସର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ନିରୂପଣ କରିବା ସମ୍ଭବ ହୋଇଅଛି । ଉଦାହରଣ—

$$E_p = \frac{P^2}{2M} = (Br)^2 \frac{e^2}{2M} = 1{\cdot}5 \times 10^{-12} g = 9{\cdot}6 \text{ MeV}$$

ସମୀକରଣ (୨୫·୨୭)ରୁ ଆମେ ପାଇବା,

$$Q = -\frac{9}{11}E_a + \frac{12}{11}E_p = -1{\cdot}23 + 10{\cdot}5 = 9{\cdot}3\text{MeV}$$

(୨୫·୩୦)

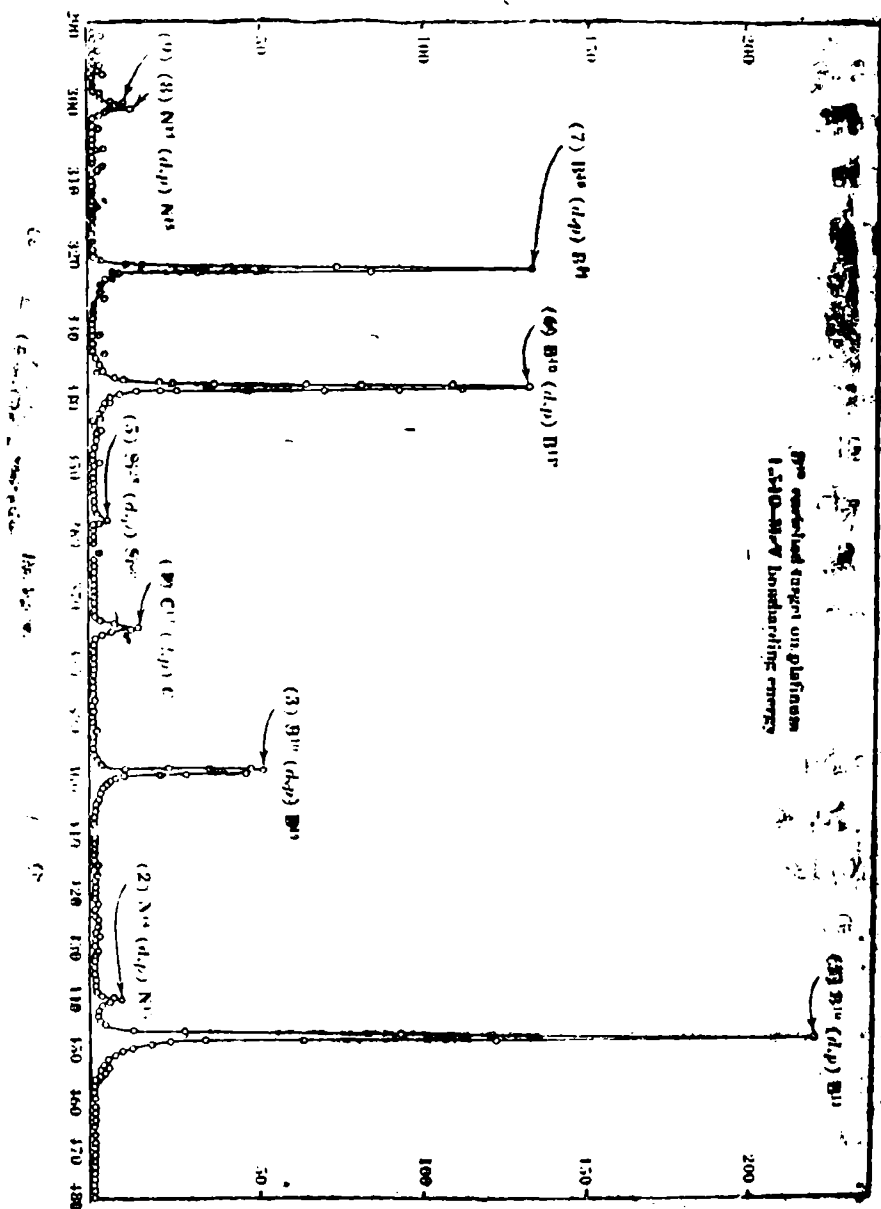
ଏହି ପରୀକ୍ଷା ଓ ଅନ୍ୟ ପରୀକ୍ଷାରୁ 1967ରେ ମୂଲ୍ୟ ହେଲା 9·2319±0·0006MeV ଆପତିତ ଡ୍ୟୁଟେରନ ଶକ୍ତିର ଅନ୍ୟ ଏକ ମୂଲ୍ୟ ନେଇ E_pକୁ ମାପ କରିବାଦ୍ୱାରା ଏହି କଣିକାଦଳଟି ଠିକ୍‌ରୂପେ ଚିହ୍ନା ଯାଇଛନ୍ତି କି ନା ଜଣାଯିବ । ଯଦି Qର ମୂଲ୍ୟ ଏକା ହୁଏ, ତେବେ ସମୀକରଣ (୨୫·୩୦)ରେ ମିଳୁଥିବା ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଂଖ୍ୟା ସବୁ ଠିକ୍ ଭାବରେ ସୁନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ କରାଯାଇ ପାରିଛି ବୋଲି ଜଣାଯିବ । ଏହିପରି ସଂଖ୍ୟାର ଦଳ 1, 3, 6 ଓ 7 ଦଳଗୁଡ଼ିକ ବର୍ତ୍ତମାନ ପ୍ରକ୍ରିୟାର ଏବଂ ଅନ୍ୟଦଳଗୁଡ଼ିକ ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁରେ ରହିଥିବା ଅନ୍ୟ କୌଣସି ଦୂଷିତ ପଦାର୍ଥର ବୋଲି ସ୍ଥିର କରାଗଲା । ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁରେ ରହିଥିବା ଦୂଷିତ ପଦାର୍ଥକୁ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଭାବରେ ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁ ଆକାରରେ ନେଇ ପରୀକ୍ଷଣ ଫଳସ୍ୱରୂପର ସତ୍ୟତା ପରୀକ୍ଷା କରାଗଲା ।

[ଟେବୁଲ ୨୫·୨ $B^{10}(d, P)B^{11}$ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ମିଳୁଥିବା ପ୍ରୋଟନ ଦଳସବୁ[1]]

ପ୍ରୋଟନ ଦଳ	Q. MeV	B^{11}ରେ ଉତ୍ତେଜନା ଶକ୍ତି
1	9·2329±0·0034	0
3	7.1083	2.1246±0.0011
6	4·7871	4.4458±0 0021
7	4·2137	5·0192±0·0024

[1]Browne and O'Donnel Phys. Rev., Vol. p. 767, 1976

ତଳ ୨୫·୨ରେ $B^{10}(d, p)B^{11}$ର ଦଳମାନଙ୍କ ପାଇଁ Q ମୂଲ୍ୟସବୁ ଟେବୁଲ ୨୫·୨ରେ ଦିଆଯାଇଅଛି । ପ୍ରତ୍ୟେକ Q ମୂଲ୍ୟ ଓ ମୂଳ ଅବସ୍ଥାର Q ମୂଲ୍ୟର ତାରତମ୍ୟ



[ଚିତ୍ର ୨୪·୯ $B^{10}(d,p)B^{11}$ ପ୍ରକ୍ରିୟାରୁ ମିଳୁଥିବା ପ୍ରୋଟନଗୁଡ଼ମାନଙ୍କର ଆଂଶିକ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ (Van patter, Buechner and Sperduta. Phys. Rev. 82 248 (1951)]

ଡାହାଣ ସ୍ତମ୍ଭରେ ସୂଚିତ ହୋଇଅଛି । ଏହି ତାରତମ୍ୟ B^{11}ର ଉତ୍ତେଜିତ ଅବସ୍ଥାର ସ୍ତରକୁ ପ୍ରଧାସଲକ୍ଷ ଦେଇଥାଏ । ଚିତ୍ର ୨୫.୧୭ରେ ଶକ୍ତିସ୍ତରସବୁ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି; ଏଥିରେ ସଂଶ୍ଳିଷ୍ଟ ଶବ୍ଦ ଜଣାପଡ଼ିବ । ପ୍ରାରମ୍ଭିକ ପଦାର୍ଥଗୁଡ଼ିକର ବସ୍ତୁତ୍ୱ $(B^{10}+H^1)$ ଓ ଶେଷ ଉତ୍ପନ୍ନ ପଦାର୍ଥଗୁଡ଼ିକର ବସ୍ତୁତ୍ୱରେ $(B^{11}+H^1)$ ତାରତମ୍ୟ Q/c^2 ଅଟେ । ଏହା 9.231MeVର ସଙ୍ଗେ ସମାନ । ଯଦି ମୋଟ ଶକ୍ତି ପରିମାଣକୁ ଏକ ଅଭିଲମ୍ବ ସ୍କେଲରେ ଅଙ୍କନ କରାଯାଏ, ପ୍ରାରମ୍ଭିକ ଅବସ୍ଥା (ବର୍ତ୍ତମାନ ପାଇଁ ଅଘାତକାରୀ ଶକ୍ତିକୁ ବାଦ ଦେଲେ) ଶେଷ ଅବସ୍ଥାର ଏହି ପରିମାଣରେ ଉପରେ ରହିଥାଏ । ଚିତ୍ରରେ ଶୂନ୍ୟ ପରିମାଣ ମନଇଚ୍ଛା ସ୍ଥିର କରାଯାଇଥିବାରୁ ଆମେ ସୁବିଧାଦୃଷ୍ଟିରୁ ଦୁଇଟିଯାକ ପରିମାଣରୁ ପ୍ରୋଟନର ବସ୍ତୁତ୍ୱ (Xc^2)କୁ ଅନ୍ତର କରି ଦେଇପାରିବା ଓ ତାରତମ୍ୟ, $M(B^{10}+H^1-H^1)c^2-M(B^{11})\times c^2$କୁ 9.231 MeV ଅଭିଲମ୍ବ ବିସ୍ଥାପନ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରିପାରିବା । ତେବେ ଚିତ୍ରରେ ସମସ୍ତ ଶକ୍ତି B^{11}ର ମୂଳ ଅବସ୍ଥା ତୁଳନାରେ ପ୍ରକାଶିତ ହେବ । ବର୍ତ୍ତମାନ 1.510MeV ଅଘାତକାରୀ ଶକ୍ତିକୁ ବିଚାରକୁ ନେଲେ, ଆମେ ଦେଖିପାରିବା ଯେ, ଏହି ଶକ୍ତିର ଏକ ଅଂଶ ବସ୍ତୁତ୍ୱକେନ୍ଦ୍ରର ଗତିଜଶକ୍ତି ହେବ ଏବଂ ଏହି କାରଣରୁ ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର ଅନ୍ତରସ୍ଥ କଣିକାମାନଙ୍କର ପୁନଃବ୍ୟବସ୍ଥା ପାଇଁ ମିଳିପାରିବ ନାହିଁ । ଏକ ସରଳ ହିସାବରୁ ମିଳିପାରିବ ଯେ, ଯେଉଁ ଅକ୍ଷମଣ୍ଡଳରେ ବସ୍ତୁତ୍ୱକେନ୍ଦ୍ର ସ୍ଥିର ରହିବ, ସେଥିରେ ଉପସ୍ଥିତ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ଅଘାତକାରୀଶକ୍ତିର M_0/M_1+M_0 ବା 10/12 ଭଗ୍ନାଂଶ ମିଳିପାରିବ । ତେଣୁ ବସ୍ତୁତ୍ୱକେନ୍ଦ୍ର ଅକ୍ଷମଣ୍ଡଳରେ B^{11}ର ମୂଳ ଅବସ୍ଥା ତୁଳନାରେ ମିଳୁଥିବା ମୋଟ ଶକ୍ତିର ପରିମାଣ $9.231+10/12\times 1.510$ ବା 10.49 MeV ମୂଳ ଅବସ୍ଥାକୁ ଅବସ୍ଥାନ୍ତର ଚିତ୍ରରେ ଲମ୍ବା ଡର୍ଫିକ ରେଖାଦ୍ୱାରା ସୂଚିତ ହୋଇଅଛି । ଏହି ମୂଳ ଅବସ୍ଥାକୁ ଅବସ୍ଥାନ୍ତର ଘଟିବାବେଳେ ପ୍ରୋଟନ ଓ ଅପସରିତ B^{11} ଉକ୍ତ ଶକ୍ତିକୁ ଏପରି ଭାଗ କରନ୍ତି, ଯେପରିକି ସବେଗ ସଂରକ୍ଷିତ ହୁଏ (ଲେବରେଟରୀ ମଣ୍ଡଳରେ ସେମାନଙ୍କର ଗତିବେଗସବୁ ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ବସ୍ତୁତ୍ୱକେନ୍ଦ୍ରର ଗତିବେଗକୁ ଯୋଗ କଲେ ମିଳିଥାଏ) । ଯଦି B^{11} ଉତ୍ତେଜିତ ଅବସ୍ଥାରେ 2.1MeV ବା ଉଚ୍ଚତର ସ୍ତରରେ ରହିଥାଏ, ଗତିଜଶକ୍ତି ଅନୁରୂପ ପରିମାଣରେ କମିଯିବ ଓ ଏହା ଛୋଟ ଛୋଟ ତୀର ସାହାଯ୍ୟରେ ସୂଚିତ ହୋଇଅଛି । ଟେବୁଲ ୨୫.୨ରେ ଦିଆଯାଇଥିବା ପ୍ରୋଟନ ଦଳଛଡ଼ା ଅନ୍ୟ ବହୁ ପ୍ରୋଟନ ଦଳ ଜଣା ଅଛି, ଅନୁରୂପସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ଚିତ୍ରରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି;

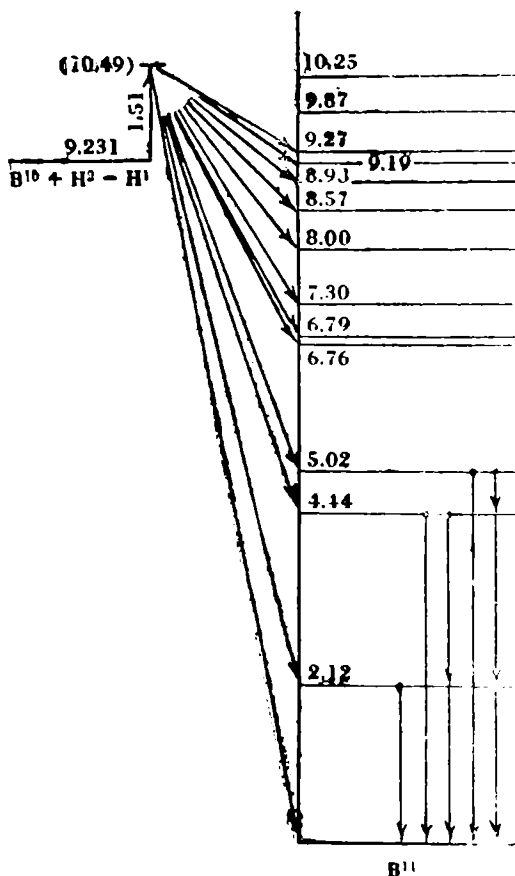
ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଥିବା ଅଧିକାଂଶ ସ୍ତର γ ବିକିରଣ ଦେଇ ବିନାଶ ହୋଇଥାଏ । ଏପରି ବିନାଶବେଳେ ଏହା ହୁଏତ ସିଧାସଳଖ ମୂଳ ଅବସ୍ଥାକୁ ଚାଲିଯାଏ, ଅଥବା ନିମ୍ନ ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟଦେଇ ପର୍ଯ୍ୟାୟକ୍ରମେ ମୂଳ ଅବସ୍ଥାକୁ ଯାଇଥାଏ । କେତେକ ସମ୍ଭାବ୍ୟ-ଯୋଗ ଚିତ୍ରରେ ଅଭିଲମ୍ବ ତୀରଦ୍ୱାରା ସୂଚିତ ହୋଇଅଛି । ଅନେକକ୍ଷେତ୍ରରେ γ ରଶ୍ମିର ଶକ୍ତିକୁ ସିଧାସଳଖ ମାପକରି କଣିକାଦଳମାନଙ୍କର ଶକ୍ତି ସ୍ଥିର କରିବା ସମ୍ଭବ ହୋଇଅଛି । ଏହିପରି ଶକ୍ତିସ୍ତରଗୁଡ଼ିକର ମୂଲ୍ୟ ବିଭିନ୍ନ ପ୍ରଣାଳୀରେ ସ୍ଥିର କରି ଏହାର ସଠିକତା ସ୍ଥିର କରାଯାଇପାରିଛି ।

ଚିତ୍ର ୨୫·୧୭ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଥିବା ଶକ୍ତିସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ କୌଣସି ନିଉକ୍ଲିୟସର କେନ୍ଦ୍ର ଅବସ୍ଥା ବୁଝାଉଛି ବୋଲି କହିବା ଠିକ୍ ନୁହେଁ । ଅନୁରୂପ ପାରମାଣବିକ କ୍ଷେତ୍ରର ଶକ୍ତିସ୍ତରର ଚିତ୍ର ଯେପରି ସମସ୍ତ ପରମାଣୁର ମୋଟ ଶକ୍ତି ବୁଝାଇଥାଏ ଓ କୌଣସି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ମଡେଲ୍ କଥା ସୂଚାଏନାହିଁ, ଏଠାରେ ମଧ୍ୟ ସେପରି ଘଟିଥାଏ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, 2·12MeVର ରେଖା କେବଳ ସୂଚନା ଦିଏ ଯେ ମୂଳ ଅବସ୍ଥାର ଏହି ପରିମାଣ ଶକ୍ତି ଉପରକୁ ଗଲେ; ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟଭାବରେ ଏକ ବହୁଗୁଣ ସ୍ଥାୟୀ ଅବସ୍ଥା ବା ଉତ୍ତେଜିତ ଅବସ୍ଥା ରହିଅଛି, ଏହି ଅବସ୍ଥାରେ ଏକ ବା ଏକାଧିକ କଣିକା ରହିପାରେ । ଏହି କାରଣରୁ ମୂଳ ଅବସ୍ଥାରୁ ଶକ୍ତିସବୁ ଅଙ୍କନ କରାଯାଇଥାଏ (ଯେପରି ଏକ୍ସରେ ଚିତ୍ରମାନଙ୍କରେ କରାଯାଇଥାଏ), ଆୟନୀକରଣ ବିଭବରୁ ଚିତ୍ର କରାଯାଏନାହିଁ । ନିଉକ୍ଲିୟସ କ୍ଷେତ୍ରରେ ବିଭିନ୍ନ କଣିକାପାଇଁ ଆୟନୀକରଣ ବିଭବ ବିଭିନ୍ନ ହୋଇଥାଏ ।

25·13 ନିଉକ୍ଲିୟସର ସଂନାଦ :

ନିଉକ୍ଲିୟସର ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ଉତ୍ପାଦନ ଅର୍ଥାତ୍ ସୃଷ୍ଟ ଅପନେ କଣିକା ପାଇଁ ମିଳୁଥିବା ବିଭିନ୍ନ ପ୍ରଣାଳୀର ସଂଖ୍ୟା, ସାଧାରଣତଃ ବହୁ ପରିମାଣରେ ଆପାତକାରୀ ଶକ୍ତି ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିଥାଏ । ଶକ୍ତିର ଫଳନ ହିସାବରେ ଉତ୍ପାଦନକୁ ପ୍ରକାଶ କରୁଥିବା ରେଖାକୁ ଉତ୍ତେଜନ ଫଳନ କୁହାଯାଏ । ସ୍ୱଳ୍ପ କ୍ରେ ବିଶିଷ୍ଟ କଣିକାମାନଙ୍କ ଲାଗି କୁଲମ୍ବ ଅବରୋଧକୁ ଭେଦ କରିବା ସମ୍ଭାବନା ଶକ୍ତି ହଠାତ କ୍ଷିପ୍ର ଗତିରେ ବଢ଼ିଗଲେ ଓ ଉତ୍ପାଦନରେ ଏହି ପ୍ରଭେଦ ପରିଲକ୍ଷିତ ହୋଇଥାଏ । ଏହା ସାଙ୍ଗକୁ ସଂନାଦ ବୋଲିଥିବା ତୀକ୍ଷ୍ଣ ଶୃଙ୍ଗସବୁ

ଗୁରୁତ୍ୱପୂର୍ଣ ଫଳନରେ ଦେଖାଯାଇଥାଏ । ଏହି ସମାଦର ଗୁଣସବୁ ନିଉକ୍ଲିୟର ଭୌତିକ ବିଜ୍ଞାନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଅତ୍ୟନ୍ତ ଆକର୍ଷଣୀୟ ।



[ଚିତ୍ର ୨୫·୯୭ B^{11} ପାଇଁ ଶକ୍ତିସ୍ତରର ଚିତ୍ର । ବାମଦିଗ ତୀରସବୁ ପ୍ରୋଟନଦଳସବୁ ସୂଚାଏ, ଅଭିଲମ୍ବ ତୀରସବୁ γରଶ୍ମି ଅବସ୍ଥାନ୍ତର ବୁଝାଏ]

$Li^7 (P, \gamma) Be^8$ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ଏକ ସମାଦ ଘଟିଥାଏ, ଏହା ଚମତ୍କାର । ଯେତେବେଳେ Li^7 ପ୍ରୋଟନଦ୍ୱାରା ଆଘାତପ୍ରାପ୍ତ ହୁଏ, ଆଗରୁ ଶୁଣାଯାଇଥିବା α କଣିକାମାନଙ୍କ ସାଙ୍ଗକୁ 17 MeV ଶକ୍ତିରୁ ଅଧିକ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ γ ବିକିରଣ ହୋଇଥାଏ । Li^7 ନିଉକ୍ଲିୟସ ପ୍ରୋଟନକୁ ଗ୍ରହଣ କରି Be^8 ତିଆରି କରିବାଦ୍ୱାରା ଅଧିକା ଶକ୍ତି

1 ବ୍ୟାଣ୍ଡରେ γ ରଶ୍ମି ଆକାରରେ ବିକିରଣ ହୋଇଥାଏ । ଜ୍ଞାତ ବସ୍ତୁତ୍ୱମାନଙ୍କରୁ ପ୍ରତିକ୍ରିୟାଟିର Q ହେଲା,

$$\frac{Q}{c^2} = M(Li^7) + M(H^1) - M(Be^8) = 0.018521U$$

$$Q = 17.252MeV.$$

γ ବିକିରଣ ପାଇଁ ମିଳୁଥିବା ଶକ୍ତି ହେଲା Q ଯୁକ୍ତ ବସ୍ତୁତ୍ୱକେନ୍ଦ୍ର ଅକ୍ଷମଣ୍ଡଳରେ ମିଳୁଥିବା ପ୍ରୋଟନର ଗତିଜ ଶକ୍ତିର ଅଂଶ ।

$$E_\gamma = 17.252 + 7/8E_p \text{ MeV} \qquad (୨୫.୩୧)$$

ଏଠାରେ E_p ହେଲା ଲ୍ୟାବରେଟରୀ ଅକ୍ଷମଣ୍ଡଳରେ (ଅର୍ଥାତ୍ ଯେଉଁ ଅକ୍ଷମଣ୍ଡଳରେ ଲକ୍ଷ୍ୟ ନଭିକ୍ଲୟସ ସ୍ଥିର ଥାଏ) ଆଘାତକାରୀ ଶକ୍ତି ।

ଯଦି ଏକ ପାତଳ ଲିଥିୟମ୍ ସ୍ତରରୁ ଉତ୍ପନ୍ନ γ ବିକିରଣକୁ ଆଘାତକାରୀ ଶକ୍ତିର ଫଳନ ଭାବରେ ମାପ କରାଯାଏ, ତେବେ ୨୫.୧୮ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଥିବା ରେଖା ମିଳିବ । ଏହି ଚିତ୍ରର ପ୍ରଧାନ କଥା ହେଲା—441KeV ପ୍ରୋଟନ ଶକ୍ତିଠାରେ ଉତ୍ପାଦନରେ ଏକ ତୀକ୍ଷ୍ଣ ସର୍ବାଧିକ ମୂଲ୍ୟ, ଯେକୌଣସି ଦିଗରେ ମାତ୍ର 6KeV ପରିବର୍ତ୍ତିତ କଲେବେଲେ ଉତ୍ପାଦନ ପରିମାଣ ଏହାର ଅର୍ଦ୍ଧେକରୁ କମିଯାଏ । ଉଦାହରଣରେ ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ନିମ୍ନଲିଖିତ ପ୍ରତିକ୍ରିୟାମାନଙ୍କ ସାହାଯ୍ୟରେ ନିଉଟ୍ରନର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ତୁଳନାରେ ସ୍ଥିର କରାଯାଇ ପାରିବ ।

$$H^2 + H^2 \rightarrow H^3 + H^1 \qquad Q_1 = 4.0337 \pm 0.0017 \text{ MeV} \quad (25.27କ)$$

$$H^2 + H^2 \rightarrow He^3 + n \qquad Q_2 = 3.267 \pm 0.0067 \text{ MeV} \quad (25.27ଖ)$$

$$H^3 \rightarrow He^3 + \beta \qquad Q_3 = 0.0186 \pm 0.0002 \quad (25.27ଗ)$$

ଯଦି ପ୍ରଥମ ଓ ତୃତୀୟ ପ୍ରତିକ୍ରିୟାର ଯୋଗଫଳରୁ ଦ୍ୱିତୀୟକୁ ବିୟୋଗ କରାଯାଏ, $[M(n) - M(H^1)]\, c^2 = Q_1 + Q_3 - Q_2$ ମିଳିବ । ଆମେ ଏଥିରୁ ନିଉଟ୍ରନ ଓ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ବସ୍ତୁତ୍ୱରେ $n - H^1 = 0.7{:}5$ MeV ପ୍ରଭେଦ ପାଇବା । ବହୁ ବିଭିନ୍ନ ପରିମାପ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରି ଏହାର ଗୋଟିଏ ଉତ୍ତମ ମୂଲ୍ୟ ହେଲା,

$$n - H^1 = 0{\cdot}78245 \pm 0{\cdot}0001 \text{ MeV}$$

ବିଭିନ୍ନ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇଥିବା ବହୁ ପ୍ରକ୍ରିୟା ସାହାଯ୍ୟରେ ବସ୍ତୁତ୍ୱ-ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରୋଗ୍ରାଫରୁ ମିଳୁଥିବା ମୂଲ୍ୟର ସାହାଯ୍ୟ ବିନା C^{12}କୁ ମୂଳ ଧରି ବିଭିନ୍ନ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରିବା ସମ୍ଭବ ହୋଇଅଛି । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, N^{14} (d, α) C^{12} (α କଣିକା ନିର୍ଗତ ହେଉଅଛି) ପ୍ରକ୍ରିୟା ପାଇଁ Qର ମୂଲ୍ୟ ସୂକ୍ଷ୍ମଭାବରେ ଜଣାଅଛି । ଏହି ମୂଲ୍ୟକୁ ଅନ୍ୟ ବହୁ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ Q ମୂଲ୍ୟ ସହ ମିଶାଇ $N^{14} - C^{12}$ର ବସ୍ତୁତ୍ୱରେ ତାରତମ୍ୟ ନିର୍ଦ୍ଧାରଣ କରାଯାଇପାରିବ । ସେହିପରି ବିଭିନ୍ନ ଲଘୁ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସକୁ ସମ୍ପୃକ୍ତ କରି ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ପ୍ରକ୍ରିୟାଠାରୁ ବାହାର କରାଯାଇ ପାରିବ ଓ ତାହାଠାରୁ ନିର୍ଦ୍ଧାରଣ C^{12}କୁ ଯୋଗ କଲାପରେ ଗୋଟିଏ ସରଣୀ ସ୍ଥିର କରାଯାଇପାରିବ । ଏପରି ଗୋଟିଏ ସରଣୀରେ ଅବଶ୍ୟ ବହୁ ଯୋଗ ହେବ ଓ ଭ୍ରମସବୁ କମିଯିବ; କିନ୍ତୁ ଏଠାରେ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ତାରତମ୍ୟ ନିରୂପିତ ହେଉଥିବାରୁ ଓ ଏହା ପ୍ରକୃତ ବସ୍ତୁତ୍ୱମାନଙ୍କ ତୁଳନାରେ ଅତ୍ୟନ୍ତ କମ୍ ହୋଇ ଥିବାରୁ, ଶେଷରେ ମିଳୁଥିବା ସୂକ୍ଷ୍ମତା ଯଥେଷ୍ଟ ଉତ୍ତମ ହୋଇଥାଏ ।

25·11 ଦର୍ପଣ ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର ବସ୍ତୁତ୍ୱ :

ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ପ୍ରକ୍ରିୟାର Q ମୂଲ୍ୟମାନଙ୍କରୁ ଜଣାପଡ଼ୁଥିବା ଅସ୍ଥାୟୀ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ-ମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ଏକ ଶ୍ରେଣୀ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସକୁ ତଥାକଥିତ ଦର୍ପଣ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ କୁହାଯାଇଥାଏ । ଯଦି ଗୋଟିଏ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସରେ ଥିବା ପ୍ରୋଟନଗୁଡ଼ିକୁ ନିଉଟ୍ରନ ବଦଳରେ ଓ ନିଉଟ୍ରନ-ଗୁଡ଼ିକୁ ପ୍ରୋଟନ ବଦଳରେ ନେଲେ ଅନ୍ୟ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସଟି ମିଳିଥାଏ, ତେବେ ଏ ଦୁଇ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ପରସ୍ପରର ଦର୍ପଣ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ବୋଲାଇଥାନ୍ତି । ତେଣୁ ପାଞ୍ଚଟି ପ୍ରୋଟନ ଓ ଛଅଟି ନିଉଟ୍ରନ ଥାଇ ଗଠିତ $_5B^{11}$ର ଦର୍ପଣ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ହେଲା $_6C^{11}$ । ସେଥିପାଇଁ ଦୁହେଁ ପ୍ରକୃତିର ସ୍ଥାୟୀଭାବରେ ମିଳିବା ସମ୍ଭବ ନୁହେଁ, କାରଣ β ବିନାଶ ଦ୍ୱାରା ଗୋଟିଏ ଅନ୍ୟଟିରେ ପରିଣତ ହୋଇପାରିବ । ଉପର ଉଦାହରଣରେ C^{11} ପଜିଟ୍ରନ ବିକିରଣ କରିଥାଏ ଓ ଏହାର ଅର୍ଦ୍ଧଜୀବନର ପରିମାଣ ହେଲା 20·4 ମିନିଟ । ପଜିଟ୍ରନ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମର ଶେଷ ସୀମା ଲକ୍ଷ୍ୟ କରି $C^{11} - B^{11}$ର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ତାରତମ୍ୟ ସ୍ଥିର କରାଯାଇପାରେ, (ଅନୁ: ୨୫·୧୩) ।

$$M(C^{11})-M(B^{11})=E_{max}(\beta^{+})+1{\cdot}022MeV$$

$B^{11}(P, n)\ C^{11}$ ପ୍ରତିକ୍ରିୟାରୁ ମଧ୍ୟ ଏହି ବନ୍ଧତ୍ୱ ତାରତମ୍ୟ ନିରୂପିତ ହୋଇପାରିବ । (P, n) ପ୍ରତିକ୍ରିୟାରେ Qର ମୂଲ୍ୟ ଅତି ସୂକ୍ଷ୍ମ ଭାବରେ ନିରୂପିତ ହୋଇଅଛି । ଏହାର ମୂଲ୍ୟ ହେଲା,

$$Q=-2{\cdot}763\pm0{\cdot}001\ MeV$$

0·782 MeV. $n-H^{1}$ର ତାରତମ୍ୟକୁ ହିସାବକୁ ନେଲେ, ଆମେ ପାଇବା,

$$M(C^{11})-M(B^{11})=1{\cdot}981\ MeV\ ।$$

ଦର୍ପଣ ନଉକ୍ଲିୟନମାନଙ୍କର ବନ୍ଧତ୍ୱରେ ତାରତମ୍ୟ $P-P$ ଓ $n-n$ ବନ୍ଧନ ବଳ ସହିତ ସଂଶ୍ଲିଷ୍ଟ ଥିବା ଶକ୍ତିର ଉତ୍ତମ ତୁଳନା ସମ୍ଭବ କରିଥାଏ, କାରଣ ଦୁଇଟି ଦର୍ପଣ ନଉକ୍ଲିୟସ ମଧ୍ୟରେ କେବଳ ନଉକ୍ଲିୟସର ବଳ ଦୃଷ୍ଟିରୁ କେତେକ $n-n$ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ବଦଳରେ $P-P$ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ରହିଥାଏ । ଯଦି ଦୁଇଟି ଅଭ୍ୟନ୍ତର ସମସଂଖ୍ୟାକ ନଉଟ୍ରନ ଓ ପ୍ରୋଟନ ନେଇ ଗଠିତ ହୋଇଥାଏ (ଗଣିବା ପାଇଁ କେବଳ), ଦୁଇ ଦର୍ପଣ ନଉକ୍ଲିୟସ ପାଇଁ ଗୋଟିକରେ ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନ ଓ ଅନ୍ୟଟିରେ ଗୋଟିଏ ନଉଟ୍ରନ ଯୋଗ ହୋଇଯାଉ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, B^{11}ରେ ଅଧିକା ନଉଟ୍ରନଟି ଅଭ୍ୟନ୍ତରରେ ଥିବା ପ୍ରୋଟନ ଓ ନଉଟ୍ରନମାନଙ୍କ ସହିତ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା କରିଥାଏ ଓ a ସଂଖ୍ୟକ $n-n$ ବନ୍ଧନ ଓ b ସଂଖ୍ୟକ $n-P$ ବନ୍ଧନ ଘଟାଇଥାଏ । C^{11}ରେ a ସଂଖ୍ୟକ ବନ୍ଧନ $P-P$ ଗୁଣର ଓ b ସଂଖ୍ୟକ ବନ୍ଧନ $n-P$ ଗୁଣର ହୋଇଥାଏ । ଯଦି C^{11}ରେ $P-P$ ବନ୍ଧନ B^{11}ରେ $n-n$ ବନ୍ଧନଠାରୁ ପୃଥକ ହୁଏ, ଏହି କାରଣରୁ B^{11} ଓ C^{11} ମଧ୍ୟରେ ବନ୍ଧତ୍ୱରେ ତାରତମ୍ୟ ରହିବ । ଏଠାରେ ମନେ ରଖିବା ଉଚିତ ଯେ ଗୋଟିଏ ସ୍ଥୂଳ ମଡେଲ ସାହାଯ୍ୟରେ ଏହି ସିଦ୍ଧାନ୍ତରେ ଉପନୀତ ହେଲେ ମଧ୍ୟ ଏହା ଅତି ସାଧାରଣ; ପ୍ରକୃତରେ ସମସ୍ତ $P-P$ ବନ୍ଧନ ସମପରିମାଣରେ ପରିବର୍ତ୍ତନଶୀଳ କିନା ଓ ଏହିପରି ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ବସ୍ତୁର ଉପରେ ଏହି ସିଦ୍ଧାନ୍ତ ନିର୍ଭରଶୀଳ ନୁହେଁ ।

B^{11} ଓ C^{11}ର ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତିକୁ କେବଳ ନଉକ୍ଲିୟନ ବଳମାନଙ୍କର ଅବଦାନକୁ ତୁଳନା କରିବା ପାଇଁ ଆମେ ବନ୍ଧତ୍ୱଗୁଡ଼ିକୁ ନିମ୍ନ ଆକାରରେ ଲେଖିଥାଉ ।

$$M(B^{11}) = 5M(H^1) + 6M(n) - \frac{E_N}{c^2} + \frac{E_E}{c^2} \qquad (୨୫·୨୮କ)$$

$$M(C^{11}) = 6M(H^1) + 5M(n) - \frac{E^1_N}{c^2} + \frac{E^1_E}{c^2} \qquad (୨୫·୨୮ଖ)$$

ଏଠାରେ E_N, E_N^1 ଯଥା ଦୁଇଟି ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ବଳ ଲାଗି ହୋଇଥିବା ବନ୍ଧନଶକ୍ତି ବୁଝାଏ; E_E ଓ E_E^1 ପ୍ରୋଟନମାନଙ୍କ ଲାଗି ହୋଇଥିବା ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ ଶକ୍ତି ବୁଝାଏ । ପରେକ୍ତ ରାଶି ପାଇଁ ଏକ ଆସନ୍ନ ଉକ୍ତ ସମୀକରଣ (୨୫·୧୭) (ଅନୁ: ୨୫·୭)ରେ ଦିଆଯାଇଅଛି । ଏହି ଉକ୍ତିରୁ ଆମେ ପାଉ $E_E(B^{11}) = 5.50$ MeV । $E^1_E(C^{11}) = 8.25$ MeV । ଉକ୍ତ ସମୀକରଣମାନଙ୍କରେ ଦ୍ୱିତୀୟଟିକୁ ପ୍ରଥମଟିରୁ ବିୟୋଗ କଲେ ଓ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ବନ୍ଧନଶକ୍ତିର ତାରତମ୍ୟ ପାଇଁ ସମାଧାନ କଲେ, ଆମେ ପାଇବା

$$\frac{E_N}{c^2} - \frac{E_N^1}{c^2} = M(C^{11}) - M(B^{11}) + M(n) - M(H^1) + \frac{E_E}{c^2} - \frac{E_E'}{c^2} \qquad (୨୫·୨୯)$$

ବସ୍ତୁତଃରେ ତାରତମ୍ୟର ମୂଲ୍ୟଗୁଡ଼ିକୁ c^2 ଗୁଣନ କରି ବସାଇଲେ (MeVରେ ପ୍ରକାଶ କରି) $E_N - E_N' = 1.981 + 0.782 + 5.50 - 8.25 = 0.01$ MeV.

ପ୍ରତି କଣିକା ପାଇଁ ହାରାହାରି ବନ୍ଧନଶକ୍ତି 5 ବା 10 MeV ହୋଇଥିବାରୁ, $P-P$ ଓ $n-n$ ବଳଗୁଡ଼ିକ ସମାନ ବୋଲି କରାଯାଇଥିବା ଅନୁମାନ ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣକୁ ସତ୍ୟ ବୋଲି ମନେ ହେଉଛି । ଅବଶ୍ୟ ଏହି ଫଳାଫଳ କେତେକ ପରିମାଣରେ ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ ସଂଶୋଧନ ସଠିକତା ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ । କିନ୍ତୁ ଏହି ରାଶି ଏକ ତାରତମ୍ୟ ଆକାରରେ ମିଳୁଥିବାରୁ ଅନୁମାନିକ ମଡେଲରେ ବିଶେଷଭାବେ ପରିବର୍ତ୍ତନ କଲେ ମଧ୍ୟ ସିଦ୍ଧାନ୍ତରେ ସାମାନ୍ୟ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହେବନାହିଁ । ପ୍ରାୟ 20 ଦର୍ପଣ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ଯୁଗଳଙ୍କର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଜଣା ଅଛି । ସେମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ବଳର ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତିକୁ ଅବଦାନରେ ପ୍ରାପ୍ତ ତାରତମ୍ୟ KeVରେ କେତେକ ଦଶକରୁ କେତେକ ଶତକ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ମଧ୍ୟରେ ହୋଇଥାଏ । ଲଘୁ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କରେ ବେଶୀ ପରିମାଣରେ ତାରତମ୍ୟ ହୋଇଥାଏ, ଏଠାରେ

ଅନୁମାନ କରାଯାଇଥିବା ପୂର୍ବର ସମବଣ୍ଟନ ସମ୍ଭବତଃ ଠିକ୍ ନୁହେଁ । ପରେ ଏକ ଅନୁଚ୍ଛେଦରେ ଦର୍ପଣ ନଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ତୁଳନା ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଅଧିକ ଆଲୋଚନା କରାଯିବ ।

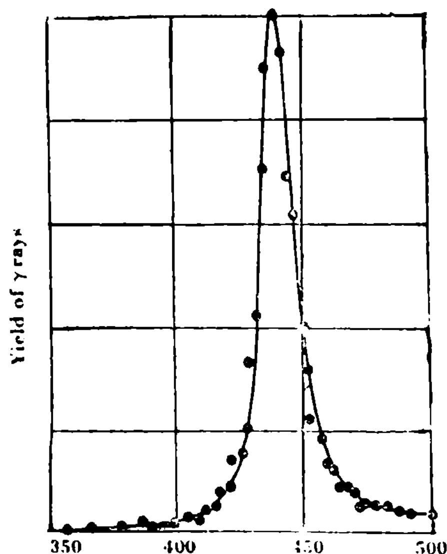
25·12 କଣିକା ଦଳ :

ନଉକ୍ଲିୟର ପ୍ରକ୍ରିୟାମାନଙ୍କରୁ ସାଧାରଣତଃ ଏକାଧିକ କଣିକା ବାହାର ହୋଇଥାଏ (ବା Q ର ଏକାଧିକ ମୂଲ୍ୟ ମିଳିଥାଏ) । ଏହିପରି ବହୁଳ ଦଳର କଣିକା ପ୍ରଥମରେ ପ୍ରାକୃତିକ α – ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କରେ (ଅନୁ. ୧୦·୧) ଦେଖାଯାଇଥିଲା ଏବଂ ଅବଶିଷ୍ଟ ନଉକ୍ଲିୟସ ବହୁଳ ଉତ୍ତେଜିତ ଅବସ୍ଥାରେ ରହିଥିବା ବୋଲି ସେତେବେଳେ ଅନୁମିତ ହୋଇଥିଲା । B^{10} କୁ ଡ୍ୟୁଟେରନଦ୍ୱାରା ଆଘାତ କରି ମିଳୁଥିବା ପ୍ରୋଟନଦଳମାନଙ୍କରେ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମ ଚିତ୍ର ୨୫·୧୭ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଛି । ଏଥିରେ ପ୍ରୋଟନଗୁଚ୍ଛର ଶକ୍ତିକୁ ଗୋଟିଏ ଅର୍ଦ୍ଧବୃତ୍ତାକାର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରୋଗ୍ରାଫକୁ ଆପତନ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ପ୍ରତି 90° କୋଣରେ ରଖି ମାପ କରାଯାଇଥିଲା (ଚିତ୍ର ୨୫·୧୫ ଦେଖ) । ଏହି ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣରେ ଆପତନ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛର ଶକ୍ତି 1·510 MeV ନିଆଯାଇଥିଲା । B^{11} ର ମୂଳ ଅବସ୍ଥାକୁ ଅବସ୍ଥାନ୍ତରଣବେଳେ ମିଳୁଥିବା ଦଳ ଚିତ୍ରରେ 1 ଦ୍ୱାରା ଚିହ୍ନା ଯାଇଛି । ଚିତ୍ରକୁ ଏହି କଣିକାମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଚୁମ୍ବକୀୟ ଦୃଢ଼ତା $Br = 0·448 wb/m$ ବୋଲି ନର୍ଦ୍ଧିଷ୍ଟ କରଯାଇପାରିବ । ତେବେ ଶକ୍ତି ହେଲା, ମିଳୁଥିବା ପରିବର୍ତ୍ତନ ମୋଟାମୋଟି ବ୍ରେଇଟ-ଉଇଗନର୍ ସଂନାଦୀସୂତ୍ର ସାହାଯ୍ୟରେ ଉତ୍ତମରୂପରେ ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇପାରେ । ଏହି ସୂତ୍ର ହେଲା,

$$\gamma(E) = A(E) \frac{\Gamma^2/4}{(E - E_r)^2 + \Gamma^2/4} \qquad (୨୫·୩୨)$$

ଏଠାରେ γ (E) ହେଲା ପ୍ରୋଟନ ଶକ୍ତିରେ ଉତ୍ପନ୍ନ γ ରଶ୍ମି ଓ E_r ହେଲା ରେଖାର ଶୃଙ୍ଗଠାରେ ପ୍ରୋଟନ ଶକ୍ତିର ମୂଲ୍ୟ । Γ ରାଶିଟି, ସର୍ବାଧିକ ଉତ୍ପାଦନର ଅର୍ଦ୍ଧେକ ଉତ୍ପାଦନ ହେଉଥିବା ଦୁଇବିନ୍ଦୁ ମଧ୍ୟରେ ରେଖାରେ ଶକ୍ତି ଏକକରେ ପ୍ରକାଶିତ ବ୍ୟବଧାନ । A(E) ଉତ୍ପାଦକଟି ଅତି ଆସ୍ତେ ଆସ୍ତେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହେଉଥିବା ଏକ ଫଳନ, ଆମ ଉଦ୍ଦେଶ୍ୟ ପାଇଁ ଏହାର ସ୍ୱଭାବକୁ ଜାଣିବା ଦରକାର ନାହିଁ ।

ସମୀକରଣ (୨୫·୩୨)ର ଆକାର ସୂଚାଉଛି ଯେ, E_rର ଅନୁରୂପ ଶକ୍ତି ପାଇଁ $Li^7 + H^1$ ଦ୍ୱାରା ନିର୍ମିତ ମଣ୍ଡଳର ଗୋଟିଏ ମୋଟାମୋଟି ସ୍ଥାୟୀ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସ୍ତର ରହିଅଛି। ପାରମାଣବିକ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରୋସ୍କୋପବିତ୍‌ମାନେ ଯାହାକୁ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନାଞ୍ଚଳ ବୋଲି କହନ୍ତି, ଏହି ସ୍ତର ସେହି ଅଞ୍ଚଳରେ ପଡ଼େ। ଏହାହିଁ ଏ ସ୍ତର ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ଘଟଣା। ମୁହୂର୍ତ୍ତିକ ପାଇଁ ଆମେ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁର ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ଏହାର ଆନୁସଙ୍ଗିକ ଘଟଣା କଥା ବିଚାର କରିବା। ସେଠାରେ ଶ୍ରୁଡ଼ିଞ୍ଜର ସମୀକରଣର ସମାଧାନ ଦୁଇପ୍ରକାରର ହୋଇଥାଏ। ଗୋଟିଏ ଅପ୍ସନ ଓ ଏହାଠାରୁ ଅନନ୍ତ ଦୂରତାରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଥାଇ ମିଳୁଥିବା ଶକ୍ତି ତୁଳନାରେ ମଣ୍ଡଳର ମୋଟ ଶକ୍ତିର ଚିହ୍ନ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରି ଏହା ଘଟିଥାଏ। ଯଦି ବନ୍ଧ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଅନୁରୂପ ମୋଟ ଶକ୍ତି ବିଯୁକ୍ତ ହୁଏ, ସମାଧାନରେ



[ଚିତ୍ର ୨୫·୧୯ (a) ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁ (ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଭୋଲ୍ଟରେ) ଓ (b) Be^8 ନିଉକ୍ଲିୟସ (MeVରେ) ମୂଳ ଅବସ୍ଥାକୁ ମାପ କରାଯାଇଥିବା ଶକ୍ତିସ୍ତରସବୁ]

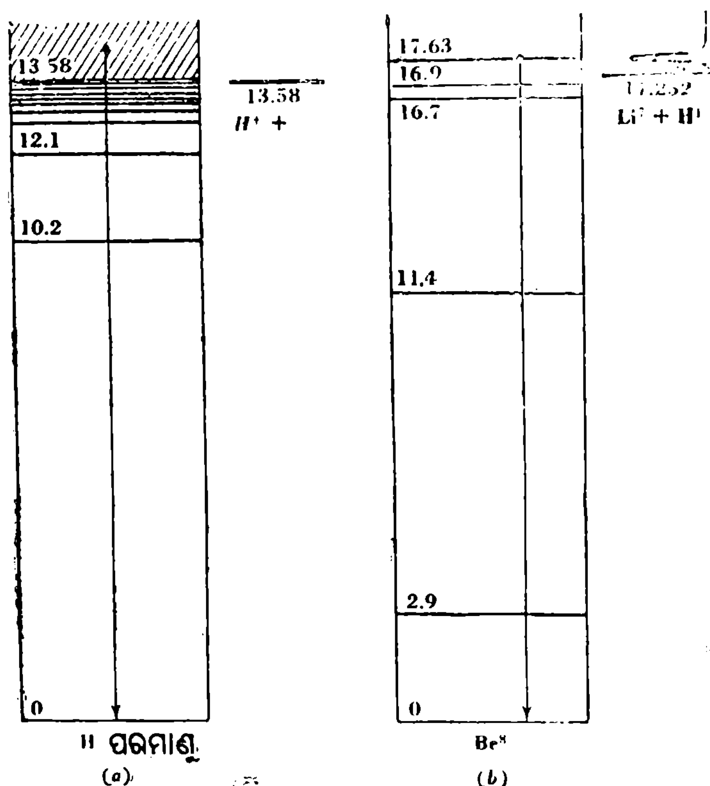
ଫୋଟନଗୁଡ଼ିଏ ବିଚ୍ଛିନ୍ନ, ପ୍ରାୟ ସ୍ଥାୟୀ† କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥା ମିଳିଥାଏ । ଅନ୍ୟ ପକ୍ଷରେ ଯଦି ଶକ୍ତି ଯଥେଷ୍ଟ, ଅର୍ଥାତ୍ ଅନନ୍ତ ଦୂରତାରେ ଯଦି ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଗତିଜ ଶକ୍ତି ରହିଥାଏ, ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କର ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନତା ସମ୍ଭବ ହୋଇଥାଏ । ଯେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ଆୟନ ଏବଂ ଏକ ମୁକ୍ତ ଶକ୍ତି ଅବସ୍ଥାରେ ଗୋଟିଏ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବନ୍ଦୀ ହେବେ ମିଳିଥିବା ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ହେଲା ଆୟନୀକରଣ ବିଭବ 13·6eV ଯୁକ୍ତ ବସ୍ତୁକେନ୍ଦ୍ର ସ୍ଥିର ଥିବା ଅକ୍ଷମଣ୍ଡଳରେ ମାପ କରାଯାଇଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଗତିଜ ଶକ୍ତି । ଯଦି ଏହି ଶକ୍ତି 1 କ୍ୱାଣ୍ଟମରେ ବିକିରିତ ହୋଇଥାଏ, ଉତ୍ପନ୍ନ ବିକିରଣ ଲାଇମାନ ଶ୍ରେଣୀର ଲିମିଟର ବାହାରେ ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନାଞ୍ଚଳର ଏକ ଅଂଶ ହୋଇଥାଏ । ଚିତ୍ର ୨୫·୧୯ରେ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ପରମାଣୁର ଆୟନୀକରଣ ବିଭବର ନିମ୍ନସ୍ଥ ବିଭବ, ବିଚ୍ଛିନ୍ନ ଅବସ୍ଥାସବୁ ଓ ଉପରର ଅବିଚ୍ଛିନ୍ନାଞ୍ଚଳ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି; ଗୋଟିଏ ମୁକ୍ତଶକ୍ତି ଥିବା ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଅବସ୍ଥାନ୍ତର ଅଭିଲମ୍ବ ତୀର ସାହାଯ୍ୟରେ ସୂଚିତ କରାଯାଇଅଛି । ମୁକ୍ତଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ କୌଣସି ବିଚ୍ଛିନ୍ନ ଅବସ୍ଥା ନଥିବା ଦୃଷ୍ଟିରୁ ମୁକ୍ତ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ବନ୍ଦୀ ହେବାର ସମ୍ଭାବନା ଶକ୍ତିର ଏକ ନିରନ୍ତର ଫଳନ ।

ଅନୁକମ୍ପ ସ୍ୱର ଘଟଣା ଚିତ୍ର ୨୯·୧୯ରେ ଦର୍ଶାଯାଇଅଛି । ଏଠାରେ ଆୟନୀକରଣର ଅନୁରୂପ ହେଲା Be^8ର ମୂଳ ଅବସ୍ଥା ତୁଳନାରେ ପ୍ରୋଟନର ପୃଥକ୍କରଣ ଶକ୍ତି, 17·252MeV ଶକ୍ତିର ଡାହାଣ ପାର୍ଶ୍ୱରେ ଚିତ୍ର ୨୫·୨୦ର ଉତ୍ପାଦନ ରେଖା ସୂଚିତ କରାଯାଇଅଛି; ଏଠାରେ ବାମଆଡ଼କୁ ଆନୁଭୂମିକ ସ୍ୱରରେ ଉତ୍ପାଦନ ଓ ଅଭିଲମ୍ବ ସ୍ୱରରେ ଶକ୍ତି ଅଙ୍କିତ କରାଯାଇଅଛି । 441 KeV ପ୍ରୋଟନମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା 17·64MeVଠାରେ (ସମୀକରଣ ୨୫·୩୧) ଏକ ସ୍ତର ରହିଅଛି ଓ ଏହି ଅବସ୍ଥାକୁ ଅବସ୍ଥାନ୍ତର ଘଟିବାଦ୍ୱାରା ଏହି

---

† ପ୍ରାୟ ସ୍ଥାୟୀ କହିବାର ଉଦ୍ଦେଶ୍ୟ ହେଲା, ଯଦି ବିକିରଣ କ୍ଷେତ୍ର ସହିତ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ହିସାବ କରାଯାଏ, ସମୟକ୍ରମେ ବିକିରଣ କରି ନିମ୍ନସ୍ତରକୁ ସ୍ଥାନାନ୍ତରଣ ଘଟିବ ଓ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାର ବିନାଶ ଘଟିବ ।

ଶକ୍ତି ପରମାଣୁର ୨ଙ୍କ ଚିହ୍ନିତ ହୋଇଅଛି । Be^8ର ଅନ୍ୟ ବହୁ ଉତ୍ତେଜିତ ସ୍ତର ମଧ୍ୟ ସୂଚିତ ହୋଇଅଛି ।



(a) (b)

[ଚିତ୍ର ୨୫.୧୯]

ଯେକୌଣସି କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥାର ପ୍ରସ୍ଥ ଏହାର ଜୀବନକାଳଦ୍ୱାରା ନିରୂପିତ ହୋଇଥାଏ, କାରଣ ଅନିଶ୍ଚିତତା ନିୟମ ଅନୁସାରେ ଯଦି କୌଣସି ଅବସ୍ଥା $\triangle t$ ସମୟ ପାଇଁ ଅବସ୍ଥାନ କରେ, ତାହାର ଶକ୍ତି କେବଳ $\triangle E = \hbar \triangle t$ ସୂକ୍ଷ୍ମତା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରିବ । ପ୍ରକୃତରେ କେବଳ ମୂଳ ଅବସ୍ଥାକୁ ଛାଡ଼ିଦେଲେ ବସ୍ତୁ ପରମାଣୁର

ଓ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ଅବସ୍ଥାର ସସୀମ ପ୍ରସ୍ଥ ହୋଇଅଛି, କାରଣ ସେ ସମସ୍ତେ ବିକିରଣ କରି ନିମ୍ନ ଅବସ୍ଥାକୁ ବିନାଶ ହୋଇପାରନ୍ତି; ଏହି କାରଣରୁ ସେମାନେ ଶ୍ରୋଡିଞ୍ଜରଙ୍କ ସମୀକରଣର କେବଳ ଆସନ୍ନ ସମାଧାନ ପ୍ରକାଶ କରନ୍ତି । ବିନାଶ ଯେତେ ସହଜରେ ଘଟିପାରେ, ତାହାଦ୍ୱାରା ଜୀବନକାଳ ନିରୂପିତ ହୋଇଥାଏ । ବଦ୍ଧ ଅବସ୍ଥା ସବୁ ପ୍ରଧାନତଃ γ ବିକିରଣ ଦ୍ୱାରା ବିନାଶ ହୋଇଥାଏ । † ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ସମସ୍ତ ସ୍ତରରେ ଏହି ଘଟଣା ଅତି ଅଳ୍ପେ ଅଳ୍ପେ ଘଟିଥାଏ ଓ ସେହି କାରଣରୁ ସାଧାରଣତଃ ଅତି ସରୁଆ ହୋଇଥାଏ । ଅନ୍ୟପକ୍ଷରେ ଆବଦ୍ଧ ପରିସର ମଧ୍ୟରେ ଯଦି କୌଣସି ଅବସ୍ଥା ଏପରିକି ମୋଟାମୋଟି ସ୍ଥାୟୀ ହୁଏ, ତେବେ କଣିକାର ବିକିରଣକୁ ଡେରି କରି ଦେବାପାଇଁ ବା ବନ୍ଦ କରିଦେବାପାଇଁ କୌଣସି ବ୍ୟବସ୍ଥା ନିଶ୍ଚୟ ହୋଇଥିବ ।

ଚାର୍ଜଯୁକ୍ତ କଣିକାଗୁଡ଼ିକର ବିକିରଣକୁ ଡେରି କରି ଦେବାପାଇଁ ଓ ବନ୍ଧନଶକ୍ତି ଉପରେ ଅପେକ୍ଷାକୃତ ସରୁଆ ସ୍ତରସବୁ ସମ୍ଭବ କରିବାପାଇଁ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ଅବରୋଧ ଆଂଶିକ ଭାବରେ ଦାୟୀ । କୌଣସି କଣିକାପାଇଁ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସକୁ ପରିତ୍ୟାଗ କରିବା ବହୁ ପରିମାଣରେ ସମ୍ଭବ ହେଲେ ମଧ୍ୟ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ମଧ୍ୟରୁ ବାହାରିବା ପୂର୍ବରୁ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ଅବରୋଧକୁ ବହୁବାର ଆଘାତ କରିବା ଦରକାର ହୋଇଥାଏ । ଗୁରୁ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଓ କଣିକାସ୍ଥ α ବିନାଶ ଏହାର ଏକ ଉଦାହରଣ । ଲଘୁ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଏହି ଅବରୋଧ ବିଶେଷ ପ୍ରଭାବଶାଳୀ ନୁହେଁ, ତେବେ ସ୍ୱଳ୍ପ ଶକ୍ତିମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଏହାର ଗୁରୁତ୍ୱ ପରିଲକ୍ଷିତ ହୋଇଥାଏ । $Li^7 (P, \gamma) Be^8$ ସଂଘାତ ଘଟଣାରେ ଥରେ ଅବସ୍ଥା ସୃଷ୍ଟି ହୋଇଗଲେ, ପ୍ରଧାନତଃ ଏହି କୁଲମ୍ବ ଅବରୋଧ ପ୍ରୋଟନର ପୁନଃବିକିରଣକୁ ଡେରି କରାଇଥାଏ ଏବଂ ମେଳ ଅବସ୍ଥା ବହୁ ସମୟ ବଞ୍ଚି ରହି γ ବିକିରଣ ସମ୍ଭବ

† କେତେକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଅନ୍ତଃପରିବର୍ତ୍ତନ, ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ହାଲ ଉଥାର ବା β ବିନାଶ ଘଟିଥାଏ । ଏହା γ ବିକିରଣ ସହ ବା ତାବଦଳରେ ଘଟିଥାଏ । ମାତ୍ର ଏଗୁଡ଼ିକ ମନ୍ଥର ପ୍ରକ୍ରିୟା ।

କରିଥାଏ । ଅବରୋଧ ପ୍ରଭାବକୁ ହିସାବ କରିବାରୁ ଜଣାଯାଉଛି ଯେ, ଥରେ ପ୍ରୋଟନଟି Be^8ର ନିଉକ୍ଲିୟସ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରବେଶ କରିବାପରେ ନିଉକ୍ଲିୟସର ଉପରିଭାଗରେ ଥରେ ପହଞ୍ଚିଲେ ଏହାର ଖସିଯିବା ସମ୍ଭାବନା 10^{-2} ପ୍ରାୟ । ପ୍ରୋଟନର ଗତିବେଗ (ଅବରୋଧ ମଧ୍ୟରେ ମୋଟାମୋଟି 10MeV ଗତିଜଶକ୍ତି, ଏହାର ଅନୁରୂପ ଗତିବେଗ) 5×10^7 m/s ପ୍ରାୟ । ଯଦି ପ୍ରୋଟନଟି ନିଉକ୍ଲିୟସ ମଧ୍ୟରେ କେବଳ ଆଗପଛ ହୋଇ ଦୋଳନ କରେ ଓ ଅନ୍ୟ ନିଉକ୍ଲିୟନମାନଙ୍କ ସହିତ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା କରେନାହିଁ, ଏହା $\frac{100\times 6\times10^{-15}}{5\times10^7}$ ବା 10^{-20} ସେକେଣ୍ଡ ଘଡ଼ିର ସମୟ ମଧ୍ୟରେ 100ଥର ଯିବା ଆସିବା କରିପାରେ । ପ୍ରକୃତିର ହାରାହାରି ଜୀବନକାଳ ପରୀକ୍ଷାରୁ ମିଳିଲା $\Delta t=\hbar/\Gamma$ $=6\times10^{-20}$ ସେକେଣ୍ଡ । ହିସାବରେ ଅନିଶ୍ଚିତତା ଦୃଷ୍ଟିରୁ ଏହି ମୋଟାମୋଟି ମେଳନରୁ ଏହାର ଦୀର୍ଘ ଜୀବନ ଅବରୋଧ ଫଳରେ ହେଉଛି ବୋଲି ପ୍ରମାଣ ମିଳିଲା ।

ଗୋଟିଏ γ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ପାଇଁ ସମୟର ଆବଶ୍ୟକତା ମୋଟାମୋଟି 10^{-6} ସେକେଣ୍ଡ ବୋଲି ହିସାବ କରାଯାଇଅଛି, ତେଣୁ 1000 ପ୍ରକ୍ରିୟାରୁ ମାତ୍ର ଗୋଟିକରେ γ ବିକିରଣ ହେବ, ଅନ୍ୟ ସବୁ ଘଟଣାରେ ପ୍ରୋଟନଟି ପୁଣି ବହିର୍ଗତ ହୋଇଥାଏ ସତେ ଯେପରି ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ବିଚ୍ଛୁରଣ ଘଟିଛି । ଏହି ପ୍ରକ୍ରିୟାକୁ ସଂନାଦୀ ବିଚ୍ଛୁରଣ କୁହାଯାଏ, ସାଧାରଣ ରୁଥରଫୋର୍ଡ ବିଚ୍ଛୁରଣ ସହ ଏହା ଘଟିଥାଏ ।

ଯେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ଅବସ୍ଥା ପାଇଁ କେତେଗୁଡ଼ିଏ ବିଭିନ୍ନ ବିନାଶ କ୍ରିୟା ସମ୍ଭବ ହୋଇଥାଏ, ବିଭିନ୍ନ ପ୍ରକ୍ରିୟାର ବିନାଶ ହାରର ମିଶ୍ରଣରେ ମୋଟ ବିନାଶ ହାର ମିଳିଥାଏ, ହାରାହାରି ଜୀବନକାଳର ବ୍ୟୁତ୍କ୍ରମ ବିଭିନ୍ନ ହାରାହାରି ଜୀବନକାଳର ବ୍ୟୁତ୍କ୍ରମର ଯୋଗଫଳ ହୋଇଥାଏ ।

$$\frac{1}{t}=\frac{1}{t_a}+\frac{1}{t_b}+\frac{1}{t_c}+\cdots$$

ଏଠାରେ t_a ପ୍ରୋଟନଟିଏ ଖସିଯିବାର ହାରାହାରି ଜୀବନକାଳ ବୁଝାଇପାରେ, t_b γ ବିକିରଣ ପାଇଁ ହାରାହାରି ଜୀବନକାଳ ବୁଝାଇପାରେ ଏବଂ $t_c + \cdots$ ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ସମ୍ଭବ ଥିବା ପ୍ରକ୍ରିୟା ବୁଝାଇପାରେ । ଏଥିରୁ ସ୍ପଷ୍ଟ ହେଉଛି ଯେ କୌଣସି ସ୍ତରର ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ପ୍ରସ୍ଥ Γ ବିଭିନ୍ନ ବିନାଶ ପ୍ରଣାଳୀର ଆଂଶିକ ପ୍ରସ୍ଥ $\Gamma_i = \hbar/t_i$ ଗୁଡ଼ିକୁ ନେଇ ଗଠିତ ବୋଲି ମନେ କରାଯାଇପାରେ ।

ଉପସ୍ଥିତ ଘଟଣାରେ, α କଣିକା ବିକିରଣ ଦ୍ୱାରା ସ୍ତରଟିର ବିନାଶ ବହୁ ପରିମାଣରେ ସମ୍ଭବ; କାରଣ Li^7 (P, α) He^4 ପ୍ରକ୍ରିୟାର Q ମୂଲ୍ୟ 17·347MeV । ଏହି ପରିମାଣର ଶକ୍ତି ମିଳିଲେ α କଣିକାଟି ଅତି ଶୀଘ୍ର ଖସିଯିବାର ସମ୍ଭାବନା ରହୁଅଛି ଓ ଏହାଦ୍ୱାରା ସ୍ତରଟିକୁ ଅତି ବେଶୀ ପ୍ରସ୍ଥ ଦେଇଯିବାର ସମ୍ଭାବନା ରହୁଅଛି । ମାତ୍ର ଚୟନ ନିୟମର କଠୋରତା ଫଳରେ ଏହା ଘଟେନାହିଁ । Li^7କୁ ପ୍ରୋଟନ ଦ୍ୱାରା ଆଘାତ କରିବାରୁ ମିଳୁଥିବା ଯୌଗିକ† ମଣ୍ଡଳର ମୋଟ କୌଣିକ ସଂବେଗ ଓ ପାରିଟି ପ୍ରୋଟନଦ୍ୱାରା ଆନୀତ ଅକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗ (ବିଭିନ୍ନ ସଂଘର୍ଷ ରାଶି ପାଇଁ ବିଭିନ୍ନ L ମୂଲ୍ୟ; ପୂର୍ବତନ ସଂଜ୍ଞାରେ) ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ । ସେଥିପାଇଁ କୌଣସି ଦତ୍ତ ଆଘାତକାରୀ ଶକ୍ତି ପାଇଁ କେତେକ ବିଭିନ୍ନ ପ୍ରକାରର ଯୌଗିକ ମଣ୍ଡଳ ତିଆରି ହୋଇପାରେ । ଯଥା—ଯେଉଁ ପ୍ରୋଟନଗୁଡ଼ିକର $L = 0$ (ମୁହାଁମୁହିଁ ଆଘାତ) ଭେକ୍ଟର ଯୋଗଦ୍ୱାରା $I\,(Be^8) = I\,(Li^7) + I\,(H^1) = \frac{3}{2} \oplus \frac{1}{2} = 2$ ବା ମିଳିବ; ଯେଉଁ ପ୍ରୋଟନଗୁଡ଼ିକର $L = 1$, ସେଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ $I\,(Be^8) = 3, 2, 2, 1$ ବା 0 ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ତିଆରି ହୋଇପାରେ । ମୋଟ କୌଣିକ ସଂବେଗ ଅଯୁଗ୍ମ ଥିବା ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ଶୂନ୍ୟ ଘୂର୍ଣ୍ଣନବିଶିଷ୍ଟ ଦୁଇଟି ଏକ ପ୍ରକାର, କଣିକାରେ ବୋଧହୁଏ ଭାଙ୍ଗିଯିବନାହିଁ; ତେଣୁ Be^8ର ଯଦି $I = 1$ ବା 3 ହୋଇଥିବା ଅବସ୍ଥା ଥାଏ, ତେବେ α କଣିକା ଉତ୍ପନ୍ନ କରିପାରିବନାହିଁ ଓ ଏହାର ପ୍ରସ୍ଥ ପ୍ରୋଟନ ବା γ ବିକିରଣର ଆଂଶିକ ପ୍ରସ୍ଥମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣରୂପେ ନିରୂପିତ ହେବ ।

---

† ଦୁଇଟି ଏକାପରି ବୋଷ ଆଇନଷ୍ଟାଇନ କଣିକାଙ୍କର ଆପେକ୍ଷିକ ଅକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗ ଯୁଗ୍ମ ପୂର୍ଣ୍ଣ ସଂଖ୍ୟକ ମୂଲ୍ୟ ଗ୍ରହଣ କରିବେ, କାରଣ ସେମାନଙ୍କର ତରଙ୍ଗ ଫଳନ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟୀ ହେବେ ।

ପ୍ରକୃତରେ ସ୍ଥିରଚିର I = 1 ଓ ଏକ୍ସ L = 1 ପ୍ରୋଟନମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା (P ତରଙ୍ଗ ଗଠିତ ବୋଲି ସିଦ୍ଧାନ୍ତ ହୋଇଅଛି ।

25·14 ଦ୍ରବବିନ୍ଦୁ-ମଡେଲ :

ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ଅତି ସହଜରେ ଘଟୁଥିବା ଘଟଣା ଘଟିଥାଏ ଯାହାକି ଏଗୁଡ଼ିକ ଏତେ କ୍ଷଣସ୍ଥାୟୀ ଯେ ଅବରୋଧର ପ୍ରଭାବଦ୍ୱାରା ବୁଝି ହୋଇ ପାରିବନାହିଁ । ମଧ୍ୟ ନ୍ୟୁଟ୍ରନ-ମାନଙ୍କର ବନ୍ଦୀ ଫଳରେ (ଅନୁ: ୨୫·୧୫) ଦେଖାଯାଉଥିବା ଅତ୍ୟନ୍ତ ତୀକ୍ଷ୍ଣ ଅନାଦ ସବୁ ଏମାନଙ୍କର ମଧ୍ୟରେ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ । ଏହି ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକୁ ବୁଝାଇବାକୁ ଚେଷ୍ଟା କରି ଏନ୍. ବର୍ 1936 ମସିହାରେ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ଦ୍ରବ ବିନ୍ଦୁ ମଡେଲ ଫଳରେ ପ୍ରସ୍ତାବ କରିଥିଲେ । ଏହି ସମୟ ଅଗରୁ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ଅଧିକାଂଶ ତତ୍ତ୍ୱ ପରମାଣୁ ଉପମା ନେଇ ଗଢି ଉଠିଥିଲା, ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ମୋଟାମୋଟି ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର ଭାବରେ ଗୋଟିଏ ବିଭବ କୂପ ମଧ୍ୟରେ ଘୂରୁଛନ୍ତି ବୋଲି ଅନୁମାନ କରିବାରେ ଏହି ଉପମା ଗ୍ରହଣ କରାଯାଉଥିଲା । ଏହି ବିଭବ କୂପ ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟନମାନଙ୍କର ହାରାହାରି ପ୍ରଭାବକୁ ହିସାବକୁ ନେଇ ସରଳ ଭାବରେ ଗଠିତ ହେବା ଛଡ଼ା ସେମାନଙ୍କର ଅବସ୍ଥିତିକୁ ଅଧି ବିସ୍ତାରକୁ ନେଉ ନଥିଲା । ଅନାଦ ସବୁ ଗୋଟିଏ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟନର ଗତି ଲାଗି ସୃଷ୍ଟି ହେଉଛି ବୋଲି ଅନୁମାନ କରାଯାଉଥିଲା ଏବଂ ପାରମାଣବିକ ତତ୍ତ୍ୱମାନଙ୍କରେ କରାଗଲା ପରି ଏଠାରେ ମଧ୍ୟ ଅନ୍ୟାନ୍ୟ କଣିକାମାନଙ୍କ ସହ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଅଲୋଡ଼ନ ପ୍ରଣାଳୀରେ ହିସାବ କରାଯାଇଥାଏ ।

ଦ୍ରବ-ବିନ୍ଦୁ ମଡେଲରେ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟନମାନଙ୍କର ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାକୁ ପ୍ରାଧାନ୍ୟ ଦିଆଯାଇଥାଏ, କୌଣସି କଣିକା ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରବେଶ କରିବାମାତ୍ରେ ନିଜର ସତ୍ତା ପ୍ରାୟ ହରାଇ ପକାଇଥାଏ । ତେଣୁ ଗୋଟିଏ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ପ୍ରକ୍ରିୟାକୁ ଦୁଇଟି ଭିନ୍ନଭିନ୍ନ ଅବସ୍ଥାରେ ଭାଗ କରାଯାଇଥାଏ । ପ୍ରଥମ ଅବସ୍ଥାରେ, ଆସୁଥିବା କଣିକାଟି ଲକ୍ଷ୍ୟ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରବେଶ କରି ଗୋଟିଏ ଯୌଗିକ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ଗଠନ କରିଥାଏ ଓ ଆଗରୁ ଥିବା ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟନମାନଙ୍କ ସହ ଅତି ଶୀଘ୍ର ତା'ର ଶକ୍ତି ବାଣ୍ଟି ନେଇଥାଏ, ତେଣୁ କୌଣସି ଗୋଟିଏ କଣିକାର ଖସିଯିବା ଭଳି ଯଥେଷ୍ଟ ଶକ୍ତି ରହେନାହିଁ । ଦ୍ୱିତୀୟ ଅବସ୍ଥାରେ, କେତେକ ସମୟ ପରେ ଯେତେବେଳେ ଅକସ୍ମାତ୍ ଭାବରେ ଶକ୍ତି ପୁଣି କୌଣସି ଏକ

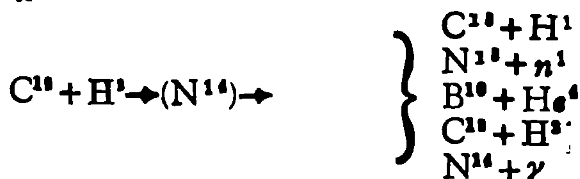
ଏକକ ଠାରେ ଅଧିକ ହୁଏ, ସେତେବେଳେ ଯୌଗିକ ନିଉକ୍ଲିୟସର ବିନାଶ ବା ବିଘଟନ ହୁଏ ଅଥବା ଶକ୍ତି ବିକିରିତ ହୋଇ ନଷ୍ଟ ହୋଇଯାଏ । ଏହି ମତ ଅନୁସାରେ, ଆପତନ କଣିକା ଓ ଲକ୍ଷ୍ୟ ନିଉକ୍ଲିୟସ ମଧ୍ୟରେ ଆଘାତ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ପ୍ରକାଶ କରିବାରେ ଯୌଗିକ ନିଉକ୍ଲିୟସ ମାମୁଲି ଭାବରେ ଜଣାଯାଏ ନାହିଁ; ଏହା ଗଠିତ ହେବାପାଇଁ ଯେତିକି ସମୟ ଦରକାର ସେ ସମୟର ବହୁଗୁଣ ଅଧିକ ସମୟ ପାଇଁ ବଞ୍ଚି ରହିଥିବା ଏହା ଏକ ମଣ୍ଡଳ ଏବଂ ଏହାର ନିଜସ୍ୱ ଗୁଣର ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ମିଳୁଥିବା ଫଳାଫଳ ଉପରେ ନିଷ୍ପତ୍ତିମୂଳକ ପ୍ରଭାବ ରହିଅଛି । ଗୋଟିଏ ଉଚ୍ଚଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଦଶା ଯୌଗିକ ନିଉକ୍ଲିୟସ ବିଭିନ୍ନ ପ୍ରଣାଳୀରେ ଗଠିତ ହୋଇପାରେ, ବିଭିନ୍ନ ଆଘାତକାରୀ କଣିକା ଓ ବିଭିନ୍ନ ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁର ମେଳରେ ଏହା ଗଢ଼ାଯାଇ ପାରିବ । କେତେକ ସଂରକ୍ଷଣ ନିୟମ ପାଳନ କରି (ଯଥା – କୌଣିକ ସଂବେଗ ଓ ପାରିଟିର ସଂରକ୍ଷଣ) ଯୌଗିକ ନିଉକ୍ଲିୟସର ବିଘଟନ ଏହାର ଗଠନ ପ୍ରଣାଳୀ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରି ନଥାଏ ବୋଲି ବିଶ୍ୱାସ କରାଯାଇଥାଏ, କୌଣସି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଘଟଣାରେ ବିଭିନ୍ନ ସମ୍ଭାବ୍ୟ ବିଘଟନ ପ୍ରକାର ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରତିଯୋଗିତା ହୋଇ ସ୍ଥିର ହୋଇଥାଏ ।

ନିଉକ୍ଲିୟସର ପ୍ରକ୍ରିୟାମାନଙ୍କର ବିଭିନ୍ନ ଅବସ୍ଥା ଚିତ୍ର କରିବାପାଇଁ ଏକ ସରଳ ପ୍ରତିରୂପ ଦେବା ଉଦ୍ଦେଶ୍ୟରେ ଭର୍ ଦ୍ରବବିନ୍ଦୁ ପ୍ରସ୍ତାବ ଦେଇଥିଲେ । ଏହିପରି ଏକବିନ୍ଦୁରେ ଅଣୁମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ବନ୍ଧନଶକ୍ତି ମଣ୍ଡଳଟିକୁ ଏକତ୍ରିତ କରି ଧରିରଖେ ଓ ତାହାକୁ ତାପଯୋଗ ନହେବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ବାଷ୍ପୀକରଣକୁ ବାରଣ କରେ । ମନେକର ଏଥିରେ ଆଉ ଗୋଟିଏ ଅଣୁ ଯୋଗ କରାଗଲା; ପ୍ରଥମରୁ ଏହା ମୁକ୍ତ ଥିବାରୁ ବିନ୍ଦୁର ଉପର ଦେଇଯିବାରେ ଏହାର ଗତିଜଶକ୍ତି ବଢ଼ିଗଲା । ନିୟମ ଅନୁସାରେ, ପୁଣି ଥରେ ଉପରିସ୍ତରକୁ ଆସିଗଲେ ସେଠାରୁ ବାଷ୍ପୀଭୂତ ହୋଇ ଖସିଯିବାପାଇଁ ଏଥିରେ ଯଥେଷ୍ଟ ଗତିଜଶକ୍ତି ରହିଥାଏ । କିନ୍ତୁ ଏହା ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ଅଣୁ ସହିତ ଏଥି ମଧ୍ୟରେ ଆଘାତ ପାଇ ସେହି ଗତିଜଶକ୍ତିକୁ କିଛି ହରାଇବାର ସମ୍ଭାବନା ବହୁତ ବେଶୀ । ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ଅଣୁମାନଙ୍କ ସହିତ କ୍ରମେ ଏହାର ସଂଘଟ୍ଟ ଘଟି, ଏହାର ଶକ୍ତି ଉପସ୍ଥିତ ସମସ୍ତ ଅଣୁଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ବାଣ୍ଟି ହୋଇଯାଏ; ଫଳରେ କୌଣସି ଅଣୁ ବାଷ୍ପୀଭୂତ ହୋଇ ଖସିଚାଲିବାର ଶକ୍ତି ଲାଭ କରେନାହିଁ । ସମସ୍ତ ବିନ୍ଦୁ ଦୃଷ୍ଟିରୁ ବିଚାର କଲେ, ଉତ୍ତାପ ସାମାନ୍ୟ ପରିମାଣରେ ବଢ଼ି ଯାଇଥାଏ । ବିନ୍ଦୁଟିରେ

କେତୋଟି ଅଣୁ ଅଛି ଓ ସେମାନଙ୍କର ମୋଟ ଶକ୍ତି କେତେ ଜାଣିଲେ ବନ୍ଧନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ସମସ୍ତ କଥା ଜଣା ପଡ଼ିଯାଏ । ଏହାର ଉତ୍ତପ୍ତ ଜଳବିନ୍ଦୁ ଅର୍ଥାତ୍ ଆକସ୍ମିକ ଭାବେ ଶକ୍ତି ପୂର୍ଣ୍ଣ ହେବାଦ୍ୱାରା ଏଥିରୁ ଘଟିଥିବା କେତେକ ଅଣୁଙ୍କର ବାଷ୍ପୀକରଣ, ଯଥେ ଯେପରି ବାଷ୍ପକୁ ତାପ ଆକାରରେ ଶକ୍ତି ଏଥିରେ ଯୋଗ ହେଲେ ଯାହା ଘଟନ୍ତା, ସେହିପରି ଘଟିଥାଏ ।

ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା କଣିକାମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ନାନା ଉପାୟରେ ବନ୍ଦୀ ହୋଇବାର ଶକ୍ତି ବଣ୍ଟନ ହୋଇ ପାରୁଥିବାରୁ, ଯୌଗିକ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସଟି ବିନାଶ ଘଟିବା ପୂର୍ବରୁ ବହୁ ସମୟ କଟିଯାଇପାରେ । ଏହା ଫଳରେ ଯୌଗିକ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ଶକ୍ତି ଯଥାର୍ଥ ସୀମା ମଧ୍ୟରେ ବ୍ୟକ୍ତ କରଯାଇ ପାରିବ । ଦେଖାଯାଏ ଯେ ଏକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଭୋଲ୍ଟର ଏକ ଭଗ୍ନାଂଶ ମଧ୍ୟରେ ସଂନାଦ ହୁଏ, ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ସ୍ୱଳ୍ପ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ନ୍ୟୁଟ୍ରନମାନଙ୍କର ବନ୍ଦୀବେଳେ ଏହିପରି ଘଟିଥାଏ । $\Delta E \Delta t \approx \hbar$ ସମ୍ବନ୍ଧରୁ ଆମେ ଦେଖୁ ଯେ 1 eV ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଏକ ସ୍ତରର ସ୍ଥାୟୀତ୍ୱ ଜୀବନ $\Delta t = 0.7 \times 10^{-15}$ s । ଗୋଟିଏ ସାଧାରଣ ନ୍ୟୁଟ୍ରନ ଗୋଟିଏ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସକୁ ଥରେ ଅତିକ୍ରମ କରିବାର ସମୟ † (10^{-22} s କୋଟିର) ସହିତ ଏହି ସମୟର ତୁଳନା କଲେ ଆମେ ଦେଖିବା ଯେ ଗୋଟିଏ ଯୌଗିକ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ସ୍ଥାୟୀତ୍ୱ ଜୀବନକାଳ ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ନ୍ୟୁଟ୍ରନ 10^6 ବା 10^7ଟି ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ବ୍ୟାସ ଅତିକ୍ରମ କରିପାରେ ।

ଯଦି ଯଥେଷ୍ଟ ଶକ୍ତି ମିଳେ, ଗୋଟିଏ ଯୌଗିକ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ବିଭିନ୍ନ ଉପାୟରେ ବିନାଶ ହୋଇପାରେ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, C^{12}କୁ ଡ୍ୟୁଟେରନ ଦ୍ୱାରା ଆଘାତ କଲେ, ସେଥିରୁ ନିମ୍ନଲିଖିତ ବିଭିନ୍ନ ପ୍ରକ୍ରିୟା ସମ୍ଭବ ହେବାର ଦେଖାଯାଏ—



$$C^{12} + H^2 \rightarrow (N^{14}) \rightarrow \begin{cases} C^{13} + H^1 \\ N^{13} + n^1 \\ B^{10} + He^4 \\ C^{12} + H^2 \\ N^{14} + \gamma \end{cases}$$

† ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ମଧ୍ୟରେ ଗତିଜଶକ୍ତି ପ୍ରାୟ 10ରୁ 15 meV, ଏହା ପ୍ରାୟ 5×10^7 m/s ଗତିବେଗର ଅନୁରୂପ । ମଧ୍ୟମାନର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ବ୍ୟାସ ମୋଟାମୋଟି 1ରୁ 1.5×10^{-14} m

ଏଠାରେ ଯୌଗିକ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ (N^{14}) 10MeVରୁ ଅଧିକ ଉତ୍ତେଜନା ଶକ୍ତି ରହିଅଛି; 2MeV ବା ତତୋଧିକ ଶକ୍ତି ଡ୍ୟୁଟେରନ ଦ୍ୱାରା ଆଘାତ ହେବାରୁ, ଏହା ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନ, ଗୋଟିଏ ନିଉଟ୍ରନ ବା ଗୋଟିଏ α କଣିକା ବା ଗୋଟିଏ ଡ୍ୟୁଟେରନ ନିଷ୍କାସନ କରିପାରେ । ପ୍ରଥମ ଦୁଇ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ସଂନାଦ ଦେଖାଯାଇଅଛି ଓ ବୋଧହୁଏ ଅନ୍ୟସବୁ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ମଧ୍ୟ ସଂନାଦ ଘଟିଥାଏ । C^{13}ରୁ ପ୍ରୋଟନଦ୍ୱାରା ଆଘାତ କରି ସେହି ଯୌଗିକ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ଗଢ଼ାଯାଇପାରିବ । ଗୋଟିଏ ଯୌଗିକ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ କିପରି ଭାବରେ ଗଢ଼ାଯାଇଅଛି, ତାହା ଉପରେ ଯୌଗିକ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସଟିର ବିଘଟନ ନିର୍ଭର କରେ ନାହିଁ (ଅବଶ୍ୟ ସ୍ପିନ ଓ ପାରିଟିର ସଂରକ୍ଷଣ ହେବା ଦରକାର) । ଏହାଦ୍ୱାରା ଯୌଗିକ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ଗୁଣସବୁ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ପ୍ରକ୍ରିୟାର ବିଭିନ୍ନ ଅବସ୍ଥା ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରିବାରେ ପ୍ରାଧାନ୍ୟ ଲାଭ କରିଥାଏ ।

25·15 ନିଉଟ୍ରନ ପ୍ରକ୍ରିୟା :

ନିଉଟ୍ରନର ଆବିଷ୍କାରବେଳେ ଏପରି ଗୋଟିଏ କଣିକା ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ପ୍ରକ୍ରିୟା ସମ୍ପାଦନ କରିବାରେ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ଅସ୍ତ୍ର ହେବ ବୋଲି ମନେ କରାଯାଇଥିଲା । ନାଇଟ୍ରୋଜେନରେ ପ୍ରଥମେ ମେଘପ୍ରକୋଷ୍ଠରେ ଦେଖାଯାଇଥିବା ନିଉଟ୍ରନ ଅପସରଣ ନିଉଟ୍ରନ ଦ୍ୱାରା ଉତ୍ପନ୍ନ ବସ୍ତୁ ରୂପାନ୍ତରଣର ପ୍ରମାଣ ଦେଇଥିଲା । ନିଉଟ୍ରନର ଚାର୍ଜ ନଥିବାରୁ ପାରମାଣବିକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ସହିତ ଓ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର କୁଲମ୍ବ କ୍ଷେତ୍ର ସହିତ ଏହାର ଅତି ସାମାନ୍ୟ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଘଟିଥାଏ ବା ଆଦୌ କିଛି ଘଟେ ନାହିଁ, ଏହି କାରଣରୁ ନିଉଟ୍ରନ ଏପରି କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହୋଇଥାଏ । ଯେତେବେଳେ ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ବସ୍ତୁ ମଧ୍ୟରେ ଗତି କରେ, ଏଥିରୁ ବହୁ ପ୍ରୋଟନ ପାରମାଣବିକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ସହିତ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଫଳରେ ସ୍ଥିର ଅବସ୍ଥାକୁ ଆସିଯାଆନ୍ତି ଓ ମାତ୍ର ଅଳ୍ପ କେତୋଟି ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ପ୍ରକ୍ରିୟା ଘଟାଇପାରନ୍ତି । ନିଉଟ୍ରନ ବସ୍ତୁ ମଧ୍ୟରେ ବୈଦ୍ୟୁତିକ କ୍ଷେତ୍ରଦ୍ୱାରା ପ୍ରଭାବିତ ନହୋଇ ଗତି କରିଥାଏ ଓ ସେମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ଅଧିକାଂଶ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ପ୍ରକ୍ରିୟା ଘଟାଇ ଗତିପଥ ଶେଷ କରନ୍ତି । ସେମାନେ ସିଧାସଳଖ ଭାବରେ ଆୟନ ଉତ୍ପାଦନ ନକରୁଥିବାରୁ ସେମାନଙ୍କୁ ଚିହ୍ନଟ କରିବା କାର୍ଯ୍ୟଟି ଅଧିକ କଷ୍ଟକର ହୋଇଥାଏ; କିନ୍ତୁ

ସେମାନଙ୍କୁ ସେମାନେ ଘଟାଉଥିବା ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ସଂଘର୍ଷଦ୍ୱାରା ଗ୍ରହଣଯୋଗ୍ୟ କରିବା ଲାଗିବେ ଗଣନା କରାଯାଇପାରେ ।

(କ) ନିଉଟ୍ରନ ଉତ୍ପାଦନ :

ବେରିଲିୟମକୁ α କଣିକାଦ୍ୱାରା ଆଘାତ କରି ଉତ୍ପନ୍ନ କରାଯାଉଥିବା ନିଉଟ୍ରନ ପରୀକ୍ଷାମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଏକ ସୁବିଧାଜନକ ଉତ୍ସ । ଯେତେବେଳେ ଅଧିକ ତୀବ୍ରତା ଦରକାର ନାହିଁ, ସେଠାରେ ଗୋଟିଏ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ବସ୍ତୁକୁ ବେରିଲିୟମ ଗୁଣ୍ଡ ସହିତ ଗୋଲ ଭାବେ ଗୋଟିଏ ଫ୍ଲେଟ ପାତରେ ମୁଦ୍ରି ରଖିଦେଲେ କାମ ଚଳେ । ପୋଲୋନିୟମର α କଣିକାମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ($5{\cdot}3meV$) ପ୍ରତି 10^4 α କଣିକା ପାଇଁ ଗୋଟିଏ ନିଉଟ୍ରନ ଉତ୍ପନ୍ନ ହୋଇଥାଏ । ତେଣୁ 10 mcuries ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ଉତ୍ସରୁ $3{\cdot}7\times10^8\times10^{-4}$ $\approx 3{\cdot}7\times10^4$ ନିଉଟ୍ରନ ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ ଉତ୍ପନ୍ନ ହୋଇଥାଏ । କୃତ୍ରିମ ଭାବରେ ତ୍ୱରାନ୍ୱିତ କଣିକାମାନଙ୍କ ସାହାଯ୍ୟରେ ଅଧିକ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ଉତ୍ସ ତିଆରି କରାଯାଇପାରେ । ଉଦାହରଣସ୍ୱରୂପ, $Be^9(d, n)B^{10}$ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ $10meV$ର $10\mu A$ ଡ୍ୟୁଟେରନ-ମାନଙ୍କ ସାହାଯ୍ୟରେ ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ ପ୍ରାୟ 4×10^{11} ନିଉଟ୍ରନ ଉତ୍ପନ୍ନ ହୋଇପାରେ । ବହୁ ଉଦ୍ଦେଶ୍ୟରେ ନିଉଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଶକ୍ତିରେ ସମାଙ୍ଗୀ ହେବା ଦରକାର ହୋଇଥାଏ । ବହୁ ପ୍ରଣାଳୀରେ ଏକଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ନିଉଟ୍ରନ ଉତ୍ପନ୍ନ ହୋଇଥାଏ । ଗୋଟିଏ ସାଧାରଣ ଭାବରେ ବ୍ୟବହୃତ ପ୍ରକ୍ରିୟା ହେଲା Li^7 (p, n) Be^7, ଏହି ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ Q ମୂଲ୍ୟ − $1{\cdot}644MeV$. ପ୍ରୋଟନର $1{\cdot}881meV$ ଶକ୍ତିରେ ପ୍ରଥମ ନିଉଟ୍ରନ ଦେଖାଯାଇଥାଏ ଓ ଆଘାତକାରୀ ଶକ୍ତିକୁ ବଦଳାଇଲେ ଯେକୌଣସି ଆବଶ୍ୟକ ଶକ୍ତିରେ ମିଳିଥାଏ । ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ରିଆକ୍ଟର ସ୍ୱଳ୍ପ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ନିଉଟ୍ରନ ମିଳୁଥିବା ଗୋଟିଏ ଉତ୍ସ ।

(ଖ) ନିଉଟ୍ରନର ମୋଟ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ :

ନିଉଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ମୂଳତଃ ପାରମାଣବିକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରଭାବିତ ନହେଉଥିବାରୁ ବସ୍ତୁ ମଧ୍ୟରେ ଗତି କଲାବେଳେ ନିଉଟ୍ରନ ରଶ୍ମିପୁଞ୍ଜ ଅପସାରିତ ହେବା ସାଧାରଣତଃ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟମାନଙ୍କ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଦରକାରୀ ଖବର ସବୁ ଦେଇଥାଏ । ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ

ଓ ଗୋଟିଏ ଗତିଶୀଳ କଣିକା ମଧ୍ୟରେ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାର ସମ୍ଭାବନାର ପରିମାପ ସ୍ୱରୂପ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ ପଦଟି ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇଥାଏ (ଅନୁ ୭·୯) । ଏହି ରାଶିକୁ ଉପସ୍ଥିତ ଅନୁଚ୍ଛେଦରେ ବୁଝାଇବାପାଇଁ A କ୍ଷେତ୍ରଫଳ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ କ୍ଷେତ୍ର ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ଲକ୍ଷ୍ୟ ନଉକ୍ଲୃସ ଥାଇ ଓ ସେହି କ୍ଷେତ୍ରକୁ ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ I କଣିକା ପରସ୍ପର ପ୍ରତି ସମାନ୍ତର ଭାବରେ ଗତି କରି ଭେଦ କରନ୍ତୁ । ଆମେ ଅନୁମାନ କରିବା ଯେ I କଣିକାଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ i ସଂଖ୍ୟକ କଣିକା କୌଣସି ପ୍ରକାରରେ ଲକ୍ଷ୍ୟ ନଉକ୍ଲୃସଟି ସହିତ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା କରିବେ; ଏହି ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ହୁଏତ ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ବିଚ୍ଛୁରଣ ହୋଇପାରେ । ଏହି ପ୍ରଣାଳୀର ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ ହେଲା,

$$\sigma = \frac{\text{ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାର ସଂଖ୍ୟା/ଲକ୍ଷ୍ୟ ନଉକ୍ଲୃସ}}{\text{ଆପତନ କଣିକା ସଂଖ୍ୟା/ଏକକ କ୍ଷେତ୍ରଫଳ}} = \frac{i}{I/A}$$

ବା ଅନୁରୂପ ଭାବରେ,

$$\sigma = \frac{\text{ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାର ସଂଖ୍ୟା/(ଲକ୍ଷ୍ୟ ନଉକ୍ଲୃସ/ଏକକକ୍ଷେତ୍ରଫଳ)}}{\text{ଆପତନ କଣିକାମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା}}$$

$$= \frac{iA}{I}$$

ଯେଉଁ ଯଦି ଗୋଟିଏ ଆପତନ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛରେ ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ I କଣିକା ଯାଉଥାଏ ଓ ଲକ୍ଷ୍ୟ ବସ୍ତୁରେ ଏହି ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛକୁ ଅଭିଲମ୍ବ ଭାବରେ ପ୍ରତି ଏକକ କ୍ଷେତ୍ରରେ nଟି ନଉକ୍ଲୃସ ଥାଏ, ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାର ସଂଖ୍ୟା ହେବ $I\sigma n$ । dx ବେଧ ବିଶିଷ୍ଟ ବସ୍ତୁ ସ୍ତରରେ ପ୍ରତି ଏକକ ଘନରେ N ନଉକ୍ଲୃସ ଥିଲେ, କୌଣସି ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାର ସମ୍ଭାବନା ହେବ,

$$dP = \sigma N dx \qquad (୨୫·୩୩)$$

ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦର ବର୍ଣ୍ଣିତ ହେଲା କ୍ଷେତ୍ରର ବର୍ଣ୍ଣିତ ଏବଂ ପୂର୍ବତନ ଦୃଷ୍ଟିରୁ, ଲକ୍ଷ୍ୟ ନଉକ୍ଲୃସର କ୍ଷେତ୍ରଫଳର ଯେଉଁ ଅଂଶ ପ୍ରସ୍ଥରେ ଏହା ପ୍ରଣାଳୀ ପାଇଁ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ କେବଳ ସେହି ଅଂଶକୁ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ ବୁଝାଯିବ ।

· ନଉଟ୍ରନମାନଙ୍କର ନଉକ୍ଲୃସମାନଙ୍କ ସହିତ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାର ମୋଟ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ ଦୁଇଟି ଭିନ୍ନ ରାଶି ନେଇ ଗଠିତ । ଏଥି ମଧ୍ୟରେ ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ବିଚ୍ଛୁରଣ, ଅସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ

ବିଚ୍ଛୁରଣ ବିଘଟନ ଓ ସରଳ ବନ୍ଦୀତ୍ୱ ଅନ୍ତର୍ଗତ । ଯୁକ୍ତିଯୁକ୍ତ ଭାବରେ ଗତିଶୀଳ ନିଉଟ୍ରନ-ମାନଙ୍କ ପାଇଁ ମୋଟ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ ସ୍ଥୂଳଭାବରେ ନିଉକ୍ଲିୟସର କ୍ଷେତ୍ରଫଳର ଜ୍ୟାମିତୀୟ, πR^2 ବୋଲି କୁହାଯାଇପାରେ; ଏଠାରେ R ନିଉକ୍ଲିୟସର ବଳକ୍ଷେତ୍ରର କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ । ଅଧିକ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ନିଉଟ୍ରନମାନଙ୍କପାଇଁ ମଧ୍ୟ ତରଙ୍ଗ-ବିକ୍ଷେପଣ ପ୍ରଭାବ ବିଶେଷଭାବେ ଫଳପ୍ରଦ ହେଉଥିବାରୁ ପ୍ରକୃତରେ ଫଳପ୍ରଦ କ୍ଷେତ୍ରଫଳ $2\pi R^2$ ଏହାଠାରୁ ଅଧିକ ଉତ୍ତମ ହିସାବ ଦେବ । ଗୋଟିଏ ସଂକୀର୍ଣ୍ଣ ନିଉଟ୍ରନ ରଶ୍ମିପୁଞ୍ଜର ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁରେ ଜଣାଥିବା ବେଧ ମଧ୍ୟରେ ଦନେପର ମାପଦ୍ୱାରା σ_tର ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ମୂଲ୍ୟ ମିଳିପାରିବ । ଏହିପରି ଗୋଟିଏ ରଶ୍ମିପୁଞ୍ଜର ତୀବ୍ରତା ଯଦି ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ I_0 ନିଉଟ୍ରନ ହୁଏ ଓ ଏହା x ବେଧ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁ ତେଜା ଉପରେ ଆପତନ ହୁଏ, ସେହି ଦିଗରେ ବାହାରି ଯାଉଥିବା ନିଉଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ହେବ,

$$I = I_0 \, e^{-\sigma_t N_x} \qquad (୨୫·୩୪)$$

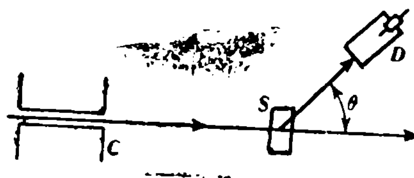
I/I_0ର ପରିମାପରୁ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ ଓ ସେଥିରୁ ନିଉକ୍ଲିୟସର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଇ-ପାରିବ । ଏଥିରୁ ମିଳୁଥିବା ମୂଲ୍ୟ ସାଧାରଣ ଭାବରେ ସମୀକରଣ (୨୫·୫) ସଙ୍ଗେ ମିଳିଥାଏ, R_0ର ମୂଲ୍ୟ $1·4 \times 10^{-15}$ ମିଟରର ପାଖାପାଖି ହୋଇଥାଏ । ଗୋଟିଏ ମଧ୍ୟମଧରି ଓଜନର ନିଉକ୍ଲିୟସ ପାଇଁ πR^2 କ୍ଷେତ୍ରଫଳ 10^{-28} ମିଟର^2 ବା 1 ବାର୍ଣ୍ଣ ହୋଇଥାଏ ।

(ଗ) ନିଉଟ୍ରନ ଓ ପ୍ରୋଟନ ବିଚ୍ଛୁରଣ :

ସାଧାରଣତଃ ବିଶେଷ ଶକ୍ତିଶାଳୀ ହୋଇ ନଥିବା ନିଉଟ୍ରନ – 1ରୁ 5 meV କୋଟୀର ଓ ଗୋଟିଏ ହାଲୁକା ନିଉକ୍ଲିୟସ ମଧ୍ୟରେ ଆଘାତର ଫଳ ସରଳ ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ବିଚ୍ଛୁରଣ ହେବାର ବହୁତ ସମ୍ଭାବନା ରହିଥାଏ । ବୋଲ୍‌ଏଟ୍‌କ୍ୟୁଁସ ଦମ୍ପତି ଓ ଚାଡଉଇକ୍ ସେମାନଙ୍କର ପରୀକ୍ଷାରେ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ଓ ନାଇଟ୍ରୋଜେନରେ ଉତ୍ପନ୍ନ ଅପସରଣ ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣ କରିଦେଲେ ଏହି ପ୍ରଣାଳୀ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହୋଇଥିଲା । ଏକପ୍ରକାର ନିଉଟ୍ରନ ଗଣିବା ଯନ୍ତ୍ର ମୂଳତଃ ଗୋଟିଏ ଆୟନୀକରଣ ପ୍ରକୋଷ୍ଠର କାନ୍ଥରେ କୌଣସି ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ଥିବା ବସ୍ତୁ ବୋଳାଯାଇ ତିଆରି ହୋଇଥାଏ । ନିଉଟ୍ରନ ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ

ଆଘାତ ଦ୍ୱାରା କାନ୍ଥରୁ ପ୍ରୋଟନ ନିଷ୍କାସନ କରେ ଓ ପ୍ରୋଟନଗୁଡ଼ିକ ସେମାନଙ୍କର ଆୟନୀକରଣ କ୍ଷମତା ବଳରେ ଗଣା ହୁଅନ୍ତି । ହାଇଡ୍ରୋଜେନରେ ନିଉଟ୍ରନମାନଙ୍କର ପ୍ରତିସ୍ଥାପକ ବିକ୍ଷୁରଣର ପରିମାପ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ବଳ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ସିଧାସଳଖ ଖବର ଯୋଗାଉଥିବାରୁ ଏଥିରେ ବହୁ ଆଗ୍ରହ ପ୍ରକାଶ ପାଇଥାଏ (ଅନୁ. ୨୫·୭ଖ) ।

ଚିତ୍ର ୨୫·୨୦ରେ ବିକ୍ଷୁରଣ ପରୀକ୍ଷା ପାଇଁ ଏକ ବ୍ୟବସ୍ଥା ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇ ଅଛି । ଗୋଟିଏ ବିକ୍ଷୁରକ s ଉପରେ ଗୋଟିଏ ସରଳୀକୃତ ଏକ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ରଶ୍ମିପୁଞ୍ଜ ପତିତ ହୋଇଥାଏ । ଯେଉଁ ନିଉଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ θ କୋଣରେ (ତିର) ବିକ୍ଷୁରିତ ହୁଅନ୍ତି D ସଂଗ୍ରାହକରେ ସେଗୁଡ଼ିକ ଗଣା ଯାଆନ୍ତି । ଯଦି ହାଇଡ୍ରୋଜେନରେ ବିକ୍ଷୁରଣକୁ ପର୍ଯ୍ୟାଲୋଚନା କରାଯାଉଥାଏ, ବିକ୍ଷୁରକ କାର୍ବନ ଓ ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ଏକ ଯୌଗିକ ହୋଇପାରେ, ଯଥା—ପାରାଫିନ ବା ପଲିଥିଲିନ୍ । ସେତେବେଳେ ଦେଖାଯାଉଥିବା ବିକ୍ଷୁରଣ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ଓ କାର୍ବନ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କରୁ ବିକ୍ଷୁରଣ ହେଉଥିବା ଫଳାଫଳର ଯୋଗଫଳ ହେବ । ଗୋଟିଏ କାର୍ବନ ବିକ୍ଷୁରକ ନେଇ ଦେଖିଲେ ବିକ୍ଷୁରଣ ଲକ୍ଷ୍ୟ କରି ଉକ୍ତ ଫଳାଫଳର ଆବଶ୍ୟକୀୟ ସଂଶୋଧନ କରିବାକୁ ହେବ । ପରୀକ୍ଷାର ଫଳାଫଳ ଆପତନ ନିଉଟ୍ରନମାନଙ୍କର ଶକ୍ତି ଓ କୋଣ θର ଫଳନ ଭାବରେ ସଂଗ୍ରାହକ ମଧ୍ୟକୁ ପ୍ରବେଶ କରୁଥିବା ନିଉଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରାଯାଏ । ଯଦି



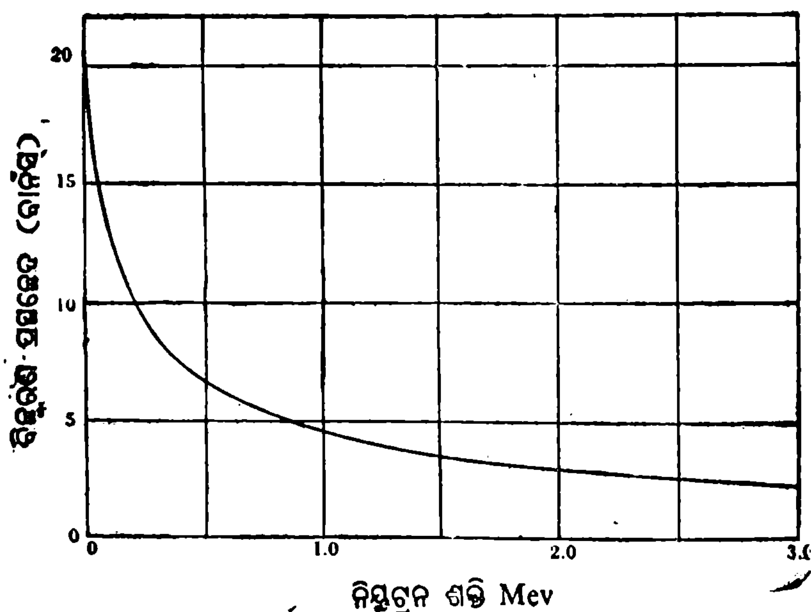
[ଚିତ୍ର ୨୫·୨୦ ସରଳୀକାରୀ C ମଧ୍ୟରେ ନିଉଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଯାଇ S ଦନ୍ତୁଚେକାରେ ବିକ୍ଷୁରିତ ହୋଇ ସଂଗ୍ରାହକ Dରେ ଗଣିତ ହୁଏ]

ସଂଗ୍ରାହକ କରୁଥିବା ଘନକୋଣ ଓ ବିକ୍ଷୁରିତ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ଜଣାଥାଏ, ତେବେ ଅବକଳନ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ $d\sigma/d\Omega$ ଅର୍ଥାତ୍ ଏକ ଏକକ ଘନ କୋଣ ମଧ୍ୟରୁ

ବିଚ୍ଛୁରଣ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ ହିସାବ କରାଯାଇପାରିବ । 1eVରୁ ଅଧିକ ଓ 10meV କମ୍ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ନିଉଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ୍‌ରେ ବିଚ୍ଛୁରଣ ଫଳାଫଳକୁ ବସ୍ତୁତ୍ୱକେନ୍ଦ୍ର ଅକ୍ଷ-ମଣ୍ଡଳରେ ପ୍ରକାଶ କଲେ ଗୋଲକରେ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ହେବାର ଦେଖାଗଲା । ଅବକଳ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦକୁ θର ସମସ୍ତ ମୂଲ୍ୟ ଉପରେ ସମାକଳ କଲେ ମୋଟ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ ମିଳେ । ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ବିଚ୍ଛୁରଣର ମୋଟ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ ଶକ୍ତି ବୃଦ୍ଧି ସହିତ ସରଳ ଭାବରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହେବାର ଦେଖାଗଲା, ମାତ୍ର କେତେକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଭୋଲ୍ଟ ଶକ୍ତିଠାରେ 20·4 ବାର୍ଣ୍ଣରୁ ଚରଭୂକର ଭାବରେ 4meVଠାରେ 2 ବାର୍ଣ୍ଣକୁ କମି ଆସିଲା । (ଚିତ୍ର ୨୫·୨୧) ।

(ଘ) ନିଉଟ୍ରନ-ସଞ୍ଚାରିତ କ୍ରିୟା :

ନିଉଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ବିଚ୍ଛୁରଣ ହେବା ସଙ୍ଗସଙ୍ଗେ କେତେକ ନିଉକ୍ଲୀୟର ପ୍ରକ୍ରିୟା ମଧ୍ୟ ଘଟିଥାଏ; ଏଥିରୁ ଅନେକ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ନିଉକ୍ଲୀୟସ ଦେଇ-ଥାନ୍ତି । ଏହି ପ୍ରକ୍ରିୟାଗୁଡ଼ିକ ଅତି ପୁଙ୍ଖାନୁପୁଙ୍ଖ ଭାବରେ ଫର୍ମି ଓ ତାଙ୍କର ସହକର୍ମୀମାନେ



[ଚିତ୍ର ୨୫·୨୧ ନିଉଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ହାଇଡ୍ରୋଜେନରେ ବିଚ୍ଛୁରଣ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ
(1 barn = $10^{-28} m^2$)]

1934ରୁ 1936 ମଧ୍ୟରେ ପର୍ଯ୍ୟାଲୋଚନା କରିଥିଲେ । ଏଥିରେ ଏହି ପ୍ରକାରର ଅନେକ ଗୁଡ଼ିଏ ପ୍ରତିକ୍ରିୟା ଦେଖା ଯାଇଥିଲା । ଏହି ପ୍ରାଥମିକ ପର୍ଯ୍ୟାଲୋଚନାରେ ବ୍ୟବହୃତ ସରଞ୍ଜାମ ସରଳ ଥିଲା । କୌଣସି ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥର ସାମ୍ପଲଟିଏ ନେଇ ତାକୁ ଅଳ୍ପ ସମୟ ପାଇଁ କୌଣସି ନିଉଟ୍ରନ ଉତ୍ସ (≃05 କ୍ୟୁରୀ ରାଡନକୁ ବେରିଲିୟମ ଗୁଣ୍ଡସହ ମିଶାଇଦେଲେ) ସାହାଯ୍ୟରେ ସକ୍ରିୟ କରାଇ ଦିଆଯାଏ । ଏହାପରେ ସାମ୍ପଲଟିକୁ ଗାଇଗର ଗଣକ ପାଖକୁ ନିଆଯାଏ ଓ ଏହାର ତେଜସ୍କ୍ରିୟତା ପରୀକ୍ଷା କରାଯାଏ । ସାଧାରଣତଃ, ସାମ୍ପଲଟି ସିଲିଣ୍ଡର ଆକାରର ହୋଇଥାଏ, ଏହାକୁ ଉତ୍ସ ଉପରେ ଲଗାଇ ଦିଆଯାଏ ଓ ତାପରେ ଗାଇଗର ଗଣକ ଉପରେ ଦିଆଯାଏ, ଏହା ଅତି ସୁବିଧାଜନକ ଆକାର ଦେଇଥାଏ । ଯେତେବେଳେ କୌଣସି ସକ୍ରିୟତା ପରିଲକ୍ଷିତ ହୁଏ, ତା'ର ଅର୍ଦ୍ଧଜୀବନ ନିରୂପଣ କରାଯାଏ ଏବଂ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ଆଇସୋଟୋପକୁ ଯେଉଁଠାରେ ସମ୍ଭବ ରାସାୟନିକ ପରୀକ୍ଷାଦ୍ୱାରା ଦେଖା ଯାଇଥାଏ । ପ୍ରାୟ 60ଟି ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ ଏହିପରି ପରୀକ୍ଷା କରାଯାଇଥିଲା ଓ ସେଥିରୁ ପ୍ରାୟ 40ଟି ତେଜସ୍କ୍ରିୟତା ଦେଖାଇଥିଲେ । ଲଘୁ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କରେ – F, *Mg*, *Al*, *Si* ଓ ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ଅନେକ – ସକ୍ରିୟତା (n, p) ବା (n, α) ପ୍ରତିକ୍ରିୟାମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଘଟିଥିଲା ବୋଲି ସିଦ୍ଧାନ୍ତ ହୋଇଥିଲା । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ସିଲିକନକୁ ଆଘାତ କରିବାଦ୍ୱାରା ପ୍ରାୟ 3ମିନିଟ ଅର୍ଦ୍ଧଜୀବନ ବିଶିଷ୍ଟ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ଅଲୁମିନିୟମ ଉତ୍ପନ୍ନ ହୋଇଥିଲା, ଏହି ପ୍ରଣାଳୀଟି ହେବ,



$$Si^{28} + n^{1} \rightarrow Al^{28} + H^{1}$$

X ଗୋଟିଏ ସ୍ଥାୟୀ ନିଉକ୍ଲିୟସ ହୋଇ X (n, P)Y ପ୍ରକାରର ପ୍ରତିକ୍ରିୟାରୁ ପ୍ରତ୍ୟେକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଗୋଟିଏ ଗୋଟିଏ ତେଜସ୍କ୍ରିୟବସ୍ତୁ ଉତ୍ପନ୍ନ କରିଥାଏ । କାରଣ Y ହେଲା Xର ଗୋଟିଏ ଆଇସୋବାର; ଏ ଦୁହିଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ କେବଳ ଏକ ଏକକ ଚାର୍ଜ ତଫାତ୍ ହୋଇଥାଏ ଏବଂ ଅନୁ: ୨୫·୪ରେ ପ୍ରତିଷ୍ଠିତ ନିୟମ ଅନୁସାରେ X ଓ Y ଦୁହେଁ ସ୍ଥାୟୀ ହୋଇ ନପାରନ୍ତି । ସେହି କାରଣରୁ ଯେତେବେଳେ ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁ କୌଣସି ସ୍ଥାୟୀ ପଦାର୍ଥ ହୁଏ, (P, n) ପ୍ରତିକ୍ରିୟାରୁ ମଧ୍ୟ ଅସ୍ଥାୟୀବସ୍ତୁ ଉତ୍ପାଦନ କରାଯାଏ । ଅଧିକାଂଶ (n, P) ପ୍ରତିକ୍ରିୟା ଶକ୍ତିଶୋଷୀ, କାରଣ ଉତ୍ପନ୍ନ ନିଉକ୍ଲିୟସ ସାଧାରଣତଃ ଅସ୍ଥାୟୀ, ଏହାର ଶକ୍ତି ମୂଳ ଅବସ୍ଥାଠାରୁ ତାରତମ୍ୟ $n - H^{1}$ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ପ୍ରଭେଦ ଦେଉଥିବା 0·78meV ଶକ୍ତିଠାରୁ ଅଧିକ । (n, P) ପ୍ରତିକ୍ରିୟା ମଧ୍ୟରେ ଯୁକ୍ତ Q ମୂଲ୍ୟ ଦେଖାଇବା କେତେକ

ପ୍ରକ୍ରିୟା ଅଛି: He^3 (n, P) H^3 ଓ N^{14} (n, P) C^{14} ଦୁଇଟି ଏହାର ଉଦାହରଣ । (P, n) ପ୍ରକ୍ରିୟାଗୁଡ଼ିକ 0·78meVଠାରୁ ଅଧିକ ଶକ୍ତି ପରିମାଣରେ ଶକ୍ତିଶୋଷୀ ।

ଲଘୁ ଓ ମଧ୍ୟମଶ୍ରେଣୀ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ବିଶିଷ୍ଟ ନାଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କରେ (n, α) ପ୍ରକ୍ରିୟାଗୁଡ଼ିକ ସାଧାରଣତଃ ଶକ୍ତିଶୋଷୀ ଓ ଅପେକ୍ଷାକୃତ ଦୁର୍ବଳ । କାରଣ କୁଲମ୍ବ ଅବରୋଧ ସ୍ୱଳ୍ପ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ α କଣିକାଗୁଡ଼ିକୁ ଯୌଗିକ ନାଉକ୍ଲିୟସର କୁଲମ୍ବ ଅବରୋଧକୁ ଅତିକ୍ରମ କରିବାରେ ବାଧା ଦିଏ । ଦୁଇଟି ପ୍ରଧାନ ଶକ୍ତି-ଉତ୍ପାଦକ ପ୍ରକ୍ରିୟା ହେଲା,

$Li^6\ (n, \alpha)\ H^3$ $\qquad Q = 4·786\ meV$

$B^{10}(n, \alpha)\ Li^7$ $\qquad Q = 2·792\ meV$

ଦୁହିଁଙ୍କର ସ୍ୱଳ୍ପଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ନିଉଟ୍ରନ ପାଇଁ ଉଚ୍ଚ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ ରହିଅଛି । ଏଥିରେ ଆର୍ଜସ୍ତୁକ କଣିକା ଉତ୍ପନ୍ନ ହେଉଥିବାରୁ ନିଉଟ୍ରନ ଡିଟେକ୍ଟର ପାଇଁ ଏହା ବହୁ ପରିମାଣରେ ବ୍ୟବହୃତ ହୋଇଥାଏ । ଗୋଟିଏ ଆନୁପାତିକଗଣକ ବୋରନ ଟ୍ରାଇଫ୍ଲୋରାଇଡ଼ ଗ୍ୟାସ ଦ୍ୱାରା ପୂର୍ଣ୍ଣ କରାଯାଏ,—B^{10} ଦ୍ୱାରା ଏହାକୁ ଅଧିକ କ୍ଷମତାଯୁକ୍ତ କଲେ ଭଲ । ନିଉଟ୍ରନ ସବୁ ଏହି ଗଣକରେ ପ୍ରବେଶ କରି α କଣିକା ଉତ୍ପନ୍ନ କରିବେ । ଏହି α କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରଚୁର ଆୟନ ଉତ୍ପନ୍ନ କରି ବଡ଼ ବଡ଼ pulse ଦେବେ । ଏଥିସଙ୍ଗେ ଥିବା ଆମ୍ପ୍ଲିଫାୟରକୁ ସଜାଡ଼ି γ ରଶ୍ମି ଦ୍ୱାରା ମିଳୁଥିବା ଛୋଟ ଛୋଟ pulseକୁ ବାଦ ଦିଆଯାଇପାରିବ; ଫଳରେ ଗଣକ କେବଳ ନିଉଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକୁ ଗଣିବେ ।

ଉଚ୍ଚ Z ବିଶିଷ୍ଟ ନାଉକ୍ଲିୟସରେ କୁଲମ୍ବ ଅବରୋଧ ଏତେ ଉଚ୍ଚ ହୁଏ ଯେ, କେବଳ ଉଚ୍ଚ ($>$10 meV) ଅଘାତକାରୀ ଶକ୍ତିକୁ ଛାଡ଼ିଦେଲେ ଆର୍ଜସ୍ତୁକ କଣିକା ନିର୍ଗତ ହେଉଥିବା ନିଉଟ୍ରନ ପ୍ରକ୍ରିୟା ଅସମ୍ଭବ ହୋଇପଡ଼େ । ଗୁରୁ ନାଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କରେ ମଧ୍ୟମ ଶକ୍ତି ପାଇଁ ପ୍ରଧାନ ପ୍ରଣାଳୀଗୁଡ଼ିକ ହେଲା— ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ବିକ୍ଷୁରଣ, ଅସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ବିକ୍ଷୁରଣ ଓ ସରଳ ବନ୍ଦୀକୃ ଘଟି ତାପରରେ γ ବିକିରଣ ହେବା (ଅନୁ: ୨୫·୧୦) ଏହି ପ୍ରକାରର ପ୍ରକ୍ରିୟାଗୁଡ଼ିକୁ ଫର୍ମିଙ୍କ ଦଳ ବୋଲି ନାମକରଣ କରାଯାଇଅଛି । ଏଥିମଧ୍ୟରେ Au^{197} $(n, \gamma)Au^{198}$ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ 2·7 ଦିନ ଅର୍ଦ୍ଧଜୀବନ ବିଶିଷ୍ଟ ରଶ୍ମି ସକ୍ରିୟତା ଉତ୍ପନ୍ନ ହୋଇଥାଏ ଓ I^{127} (n, γ) I^{128} ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ 25ମିନିଟ ଅର୍ଦ୍ଧଜୀବନ ବିଶିଷ୍ଟ

ଆଇଓଡ଼ିନର ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ଆଇସୋଟୋପ ଉତ୍ପନ୍ନ ହୋଇଥାଏ । ନିଉଟ୍ରନର ଶକ୍ତି କେତେକ KeVଠାରୁ ଅଧିକ ହେଲେ, ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ଓ ଅସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ବିକ୍ଷୁରଣ ତୁଳନାରେ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ବନ୍ଦୀ ପ୍ରକ୍ରିୟା କମ୍ ହୋଇଥାଏ । ଏହା ସବୁ ସେପରି ଏକ ନିୟମ ।

(ଡ) ମନ୍ଥର ନିଉଟ୍ରନ :

ନିଉଟ୍ରନଦ୍ୱାରା ସିଲଭର (ରୁପା)ରେ ସଞ୍ଚାରିତ ତେଜସ୍କ୍ରିୟତାକୁ ପର୍ଯ୍ୟାଲୋଚନା କରିବାର ଚେଷ୍ଟା କରୁ କରୁ ଫର୍ମି ଓ ତାଙ୍କର ସହକର୍ମୀମାନେ ଦେଖିଲେ ଯେ ଉତ୍ପନ୍ନ ତେଜସ୍କ୍ରିୟତା ପରୀକ୍ଷାରେ ଯନ୍ତ୍ରପାତିର ସାଜସଜ୍ଜା ଉପରେ ନିର୍ଭର କରୁଅଛି । ଏହି ପ୍ରଶ୍ନ ଅହୁରି ଅଧିକ ସାବଧାନ ହୋଇ ପର୍ଯ୍ୟାଲୋଚନା କରିବାରୁ ସେମାନେ ଦେଖିଲେ ଯେ, ନିଉଟ୍ରନ ଉତ୍ସ ନିକଟରେ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ଥିବା ପଦାର୍ଥର ଉପସ୍ଥିତି ଉପରେ ଓ ସିଲଭର ସାମ୍ପଲ ଉପରେ ଏହା ନିର୍ଭର କରୁଛି । ଶେଷରେ ସମସ୍ତ ଯନ୍ତ୍ରପାତି ଅଧିକ ପରିମାଣର ଜଳ ବା ପାରାଫିନଦ୍ୱାରା ଘେରାଇ ଦେବାରୁ ସେମାନେ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ଉତ୍ପାଦନ ବହୁ ପରିମାଣରେ ବଢ଼ିଯିବାର ଦେଖିଲେ । ସିଲଭର୍ ସାଙ୍ଗକୁ ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ଅନେକ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥରେ ମଧ୍ୟ ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ଉପସ୍ଥିତି ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ବସ୍ତୁ ଉତ୍ପାଦନ ବଢ଼ାଇଦେବା ସେମାନେ ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ପରୀକ୍ଷାମାନଙ୍କରୁ ଦେଖିପାରିଲେ । ଏଥିରେ କେତେକଙ୍କର ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ ଜ୍ୟାମିତିକ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦର 100ଗୁଣରୁ ଅଧିକ ଥିଲା ।

ଯେତେବେଳେ ନିଉଟ୍ରନ, ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ଥିବା କୌଣସି ପଦାର୍ଥ ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଗତି କରେ, ସେଗୁଡ଼ିକ ଅଣୁମାନଙ୍କରେ ବିକ୍ଷୁରିତ ହୋଇଯାଏ ଓ ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ଆଘାତ-ମାନଙ୍କରେ ଅତିଶୀଘ୍ର ଶକ୍ତି ହରାଇ ପକାଏ । ଗୋଟିଏ ନିଉଟ୍ରନ ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନକୁ ଆଘାତ କଲେ

$$\Delta E = E_0 \sin^2 \tfrac{1}{2}\theta$$

ପରିମାଣର ଶକ୍ତି ହସ୍ତାନ୍ତର କରିଥାଏ [ଦେଖ ସମୀକରଣ ୧୫.୧୬] ଏଠାରେ θ ଲବଷ୍ଟସ୍ତ ଅକ୍ଷମଣ୍ଡଳର ବିକ୍ଷୁରଣ କୋଣ । ଯେଉଁ ଶକ୍ତି ପରିସର ମଧ୍ୟରେ ଏହା ବିଚାର କରାଯାଉ ଅଛି । ସେହି ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ନିଉଟ୍ରନ ପାଇଁ ବ ହ୍ୱକେନ୍ଦ୍ର ଅକ୍ଷମଣ୍ଡଳରେ ବିକ୍ଷୁରଣ ସମଦିଗୀ ଓ ସେଥିରେ ଶକ୍ତିକ୍ଷୟ ପରିମାଣର ସମସ୍ତ ମୂଲ୍ୟ ସମପରିମାଣରେ ସମ୍ଭବ । ତେଣୁ ଏଥିରୁ ଜଣାଯାଉଛି ଯେ, ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନ ସଙ୍ଗେ ଆଘାତ ଫଳରେ ଗୋଟିଏ ନିଉଟ୍ରନ ଶକ୍ତି

ମୋଟାମୋଟି ଅଧାକୁ କମିଯିବ; ଅଧାକୁ କମିଯିବ; ଗୋଟିଏ ନିଉଟ୍ରନ ଦଳର ପ୍ରାଥମିକ ହାରାହାରି ଶକ୍ତି E_0 ହୋଇଥିଲେ ପ୍ରତି ନିଉଟ୍ରନର n ଆଘାତ ପରେ ହୁଳଟିର ହାରାହାରି ଶକ୍ତି ହେବ,

$$E_{av} = \frac{E_0}{2^n}$$

ତଥାପି ହାରାହାରି ମୂଲ୍ୟ ନିର୍ଦ୍ଧାରଣରେ ଅଧିକ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ଅପେକ୍ଷାକୃତ ଅଳ୍ପ କେତୋଟି ନିଉଟ୍ରନକୁ ଅତି-ଅନୁପାତ ଗୁରୁତ୍ୱ ଦିଆଯାଇଥାଏ । ଆମ ଉଦ୍ଦେଶ୍ୟ ପାଇଁ ଏହାଠାରୁ ଉତ୍ତମ ଶକ୍ତି ବଣ୍ଟନର ସୂଚକ ହେବ ମଧ୍ୟମ ଶକ୍ତି । ପୁଣି ସେହି ହାଇଡ୍ରୋଜେନର ଆଘାତମାନଙ୍କ ପାଇଁ ମଧ୍ୟମଶକ୍ତି ମୋଟାମୋଟି ଭାବରେ

$$E_{med} = \frac{E_0}{e^n}$$

ହେବ ବୋଲି ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇପାରିବ । ଏଥିରୁ ଆମେ ହିସାବ କରି ଦେଖାଇ ପାରିବା ଯେ, 1meV ନିଉଟ୍ରନଗୁଡ଼ିଏ ନେଲେ, ପ୍ରାୟ 14ଟି ଆଘାତ ପରେ ଅଧେ ନିଉଟ୍ରନଙ୍କର ଶକ୍ତି 1eVକୁ କମିଯିବ । ଦୁଇଟି ଆଘାତ ମଧ୍ୟରେ ଅତିକ୍ରାନ୍ତ ପଥକୁ ପ୍ରତି ଆଘାତ ପାଇଁ ଗଡ଼ ମୁକ୍ତପଥ କହିଲେ, ଏହି ପଥ $\wedge = 1/\sigma N$, ଏଠାରେ σ ହେଲା ବିକ୍ଷେପଣ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ ଓ N ହେଲା ପ୍ରତି ଏକକ ଘନରେ ପ୍ରୋଟନ ସଂଖ୍ୟା । σର ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ମୂଲ୍ୟ ବସାଇଲେ, (ଚିତ୍ର ୧୫·୧୧) । meV ନିଉଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ପାଣିରେ 3·3cm ଗଡ଼ ମୁକ୍ତପଥ ହେବ, 1KeV ନିଉଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଏହା ପ୍ରାୟ 0·7cm. (ଅକ୍ସିଜେନର ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କ ସହିତ ଆଘାତକୁ ଆମେ ହିସାବକୁ ନେଉ ନଥାଇଁ । କାରଣ ଏଗୁଡ଼ିକ ଆଘାତର ଶକ୍ତି ଉପରେ ପ୍ରଭାବ ଅପେକ୍ଷାକୃତ ଅତି କମ୍) । ତେଣୁ ନିଉଟ୍ରନ ଉତ୍ସର ଚାରିପଟେ 10cm ବେଧରେ ଯେତିକି ଜଳସ୍ତର ରହିଲେ, ଅଧିକାଂଶ ନିଉଟ୍ରନଙ୍କର ଶକ୍ତି ଏତେ କମିଯିବ ଯେ ସେଗୁଡ଼ିକ ଜଳ ଅଣୁମାନଙ୍କର ତାପଜନିତ ଗତି (290°K ରେ ପ୍ରାୟ 1/40eV) ସହିତ ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ରହିବେ । ଏଭଳି ନିଉଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ତାପୀୟଶକ୍ତି ଲାଭ କରନ୍ତି ସେଗୁଡ଼ିକ ଇତସ୍ତତଃ ଗତି କରନ୍ତି ଓ ସେଗୁଡ଼ିକର ଗତି ଗ୍ୟାସର ବିଚରଣଠାରୁ ଭିନ୍ନ ନୁହେ ।

ତରଙ୍ଗ ଯାନ୍ତ୍ରିକୀର ଦୃଷ୍ଟିକୋଣରୁ ବିଚାର କଲେ, ନିଉଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକୁ ମନ୍ଥର ଗତି ବିଶିଷ୍ଟ କରିଦେବାଦ୍ୱାରା ସେମାନଙ୍କର ନିଉକ୍ଲିୟର ପ୍ରତିକ୍ରିୟା ଘଟାଇବାର କ୍ଷମତା ବଢ଼ିଯିବା ସହଜରେ ବୁଝିହୁଏ । ଆମର ପ୍ରାଥମିକ ଅଲୋଚନାରେ, ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କ ସହିତ ବେଗଗାମୀ ନିଉଟ୍ରନମାନଙ୍କର ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାର ସର୍ବାଧିକ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ ହିସାବ କରିବାପାଇଁ ଆପତନ କଣିକାର ଗତିପଥରେ ନିଉକ୍ଲିୟସର ଗତିର ଅବଲମ୍ବର ଏକ ସରଳ ଜ୍ୟାମିତିକ ଧାରଣା ନିଆଯାଇଥିଲା । ଏହିପରି ସରଳ ଜ୍ୟାମିତିକ ଚିତ୍ର ପ୍ରୟୋଗର ସାଧାରଣ ପରିମାପ ହେଲା ନିଉକ୍ଲିୟର ବିମିତିଗୁଡ଼ିକର ପରିଣତ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ $\lambda/2\pi$ ପ୍ରତି ଅନୁପାତ । ଗୋଟିଏ ବେଗଗାମୀ ନିଉଟ୍ରନ ପାଇଁ (ଧର 5MeVର) ପରିଣତ ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ହେବ,

$$\frac{\lambda}{2\pi} = \frac{\hbar}{\sqrt{2Em}} = 2 \times 10^{15}\text{M}$$

ଏହା ନିଉକ୍ଲିୟର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ତୁଳନାରେ ବହୁତ ସାନ; ତେଣୁ ଏହି ନିଉଟ୍ରନର ଗତିପଥ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ କରିବା ସହଜ । eV ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ନିଉଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପାଇଁ, ଅନ୍ୟ ପକ୍ଷରେ, $\frac{\lambda}{2\pi} \approx 0{\cdot}5 \times 10^{-11}\text{M}$; ଏହା ନିଉକ୍ଲିୟସଠାରୁ ବହୁଗୁଣ ବଡ଼ । ଏହି ଅବସ୍ଥାରେ ଅତି ଦୀର୍ଘ ତରଙ୍ଗ ମଧ୍ୟରେ ନିଉକ୍ଲିୟସକୁ ଏକ ବିବର୍ତ୍ତନକାରୀ କ୍ଷୁଦ୍ର କେନ୍ଦ୍ର ବୋଲି ଅନୁମାନ କରିବା ଯଥାର୍ଥ ହେବ । ଏକ୍ଷେତ୍ରରେ ପ୍ରତି ନିଉଟ୍ରନ ପାଇଁ ଗୋଟି ଗୋଟି ଗତିପଥ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ କରିବା ଆମେ ଆପତନ ନିଉଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକୁ ଏକ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ବୋଲି ବିଚାର କରିବା ଏବଂ ସେଥିରେ ପ୍ରତି ଘନ ଏକକରେ ଗୋଟିଏ ନିଉଟ୍ରନ ପାଇବାର କୌଣସି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ସମ୍ଭାବ୍ୟତାର ସମ୍ଭାବନା ଥିବାର ଅନୁମାନ କରିବା । ଏହିପରି ଗୋଟିଏ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛରେ ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ v ଗତିବେଗ ବିଶିଷ୍ଟ I_0 ନିଉଟ୍ରନ ଏକକ କ୍ଷେତ୍ର ମଧ୍ୟଦେଇ ଯାଉ । ତେବେ ଏକକ ଘନ ମଧ୍ୟରେ ଥିବା ନିଉଟ୍ରନ ସଂଖ୍ୟା ହେଲା $\rho = I_0/v$ । ଗୋଟିଏ ନିଉଟ୍ରନ କେତେକ ସମୟ ମଧ୍ୟରେ ବନ୍ଦୀ ହେବାର ସମ୍ଭାବନା ନିଉଟ୍ରନମାନଙ୍କର ଘନତ୍ୱ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ

$$N_{capt} \propto \rho = \frac{I_0}{v}$$

କଳ୍ପ ସଂଜ୍ଞା ଅନୁସାରେ, ଏକ ଏକକ ସମୟ ମଧ୍ୟରେ ବନ୍ଦୀ ହେବା ସଂଖ୍ୟା σI_0ର ସମାନୁପାତୀ । ତେଣୁ

$$\sigma_{capt} \propto \frac{N_{capt}}{I_0} \propto \frac{1}{v} \qquad (୨୫\cdot୩୫)$$

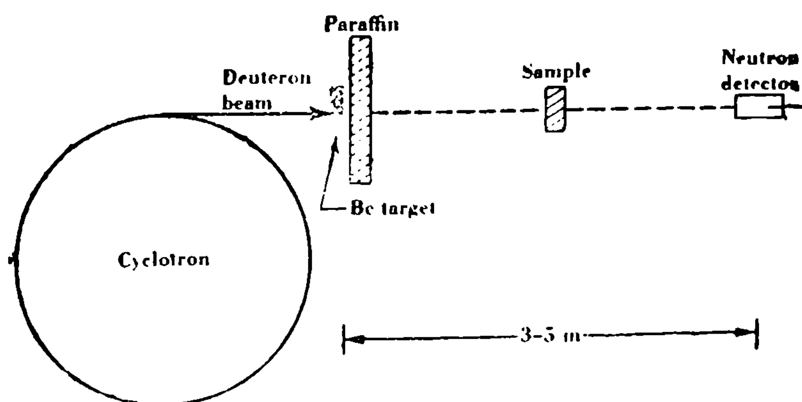
ସମୀକରଣ (୨୫·୩୫)କୁ ସାଧାରଣତଃ $1/v$ ନିୟମ ବୋଲି କୁହାଯାଇଥାଏ। ଅନେକ ନିଉଟ୍ରନ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ଏହି ନିୟମ ସ୍ପଷ୍ଟ ଭାବରେ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହୁଏ ବୋଲି ପ୍ରତିଷ୍ଠିତ ହୋଇଅଛି। ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, B^{10} (n, α) Li^7 ପ୍ରକ୍ରିୟାପାଇଁ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ 10^{-2}ରୁ ପ୍ରାୟ 10^5eV ଶକ୍ତି ପରିସର ମଧ୍ୟରେ $1/v$ ନିର୍ଭରଶୀଳତାକୁ ବିଶେଷ ଭାବରେ ଦୃଢ଼ରେ ନିଭିବାର ଦେଖାଯାଉଛି। ସିଲ୍‌ଭରକୁ ସକ୍ରିୟ କରିବା ପ୍ରଣାଳୀରେ ଏହି ନିୟମ 10^{-2}ରୁ ପ୍ରାୟ $1eV$ ଶକ୍ତି ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଲାଗୁ ହେଉଛି। କେତେକ ନିଉକ୍ଲିୟସରେ ତାପୀୟ ନିଉଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ($E \simeq kT = 1/40eV$) ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷିତ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ ବେଗଗାମୀ ନିଉଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ମିଳୁଥିବା ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦର ବହୁ ହଜାର ଗୁଣ ହୋଇଥାଏ। ଯେପରିକି ଗୋଟିଏ ଆଇସୋଟୋପର ତାପୀୟ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ $3{\cdot}5 \times 10^6$ ବାର୍ଣ୍ଣ।

(ଗ) ସଂନାଦୀ ଶୋଷଣ :

ଯଦି ମନ୍ଥର ନିଉଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ସିଲ୍‌ଭରକୁ ସକ୍ରିୟ କରିବାର (କିମ୍ବା ସିଲ୍‌ଭରକୁ) ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ ଅତ୍ୟନ୍ତ ଅଧିକ, ତେବେ ସେହି ନିଉଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସିଲ୍‌ଭରରେ ଶୋଷଣର ମଧ୍ୟ ଅତ୍ୟନ୍ତ ଅଧିକ ହେବ। ପ୍ରକୃତରେ ଏହାହିଁ ହେଉଛି ବୋଲି ଗୋଟିଏ ସିଲ୍‌ଭର ସାମ୍ପଲର ପୃଷ୍ଠପଟେ ବିଭିନ୍ନ ବେଧ ବିଶିଷ୍ଟ ସିଲ୍‌ଭର ଶୋଷକ ନେଇ, ଅମାଲ୍‌ଡି (et. al) ସେହି ସାମ୍ପଲରେ ଉତ୍ପନ୍ନ ହେଉଥିବା ସକ୍ରିୟତାକୁ ମାପ କରି ଦେଖାଇଥିଲେ। ସିଲ୍‌ଭର ପାଇଁ ସକ୍ରିୟତାକୁ ଅଧାକୁ କମାଇ ଦେବାଲାଗି ପ୍ରାୟ $1mm$ ବେଧ ବିଶିଷ୍ଟ ଶୋଷକ ଦରକାର ହେଲା, ଏଥିରୁ ତାହାହାର ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ [ସମୀକରଣ (୨୫·୩୪)] କେତେକ ଶହ ବାର୍ଣ୍ଣ ବୋଲି ସୂଚିତ ହେଲା। ଏଥିରୁ ମନେ ହେବ ଯେ ଏକ ପାତଳ ସ୍ତରର ସିଲ୍‌ଭର୍ ବହୁ ପରିମାଣରେ ମନ୍ଥର ନିଉଟ୍ରନ ଶୋଷଣ କରିପାରିବ; ତେଣୁ ହାଇଡ୍ରୋଜେନକୁ ଅମନ୍ଥ ସକ୍ରିୟ କରିବା ପ୍ରଣାଳୀରେ ତାପଜାଗାରବେ ବ୍ୟବହାର କରିବାର ସମ୍ଭାବନା ଏହା କମାଇ ଦେବ। ଅଭିଜ୍ଞତାରୁ ଚଳିଷ୍ଟକାରବେ ବ୍ୟବହାର କରି ଦେଖାଗଲା ଯେ, ଏପରି ହେବ ନାହିଁ; ସିଲ୍‌ଭର

ଶୋଷକଦ୍ୱାରା ଆଇସୋଟୋପର ସକ୍ରିୟତା ସ୍ୱଳ୍ପ ପରିମାଣରେ ପ୍ରଭାବିତ ହେଲା । ପରନ୍ତୁ ଆଇସୋଟୋପ ଶୋଷକ ଆଇସୋଟୋପର ସକ୍ରିୟତା ବହୁତ ପରିମାଣରେ କମାଇ ପାରୁଥିଲା, ଏହାର ସିଲ୍ଭର ସାମ୍ପଲଗୁଡ଼ିକ ଉପରେ ଅଳ୍ପ ପ୍ରଭାବ ରହୁଥିଲା । ଏହାର ଅର୍ଥ ହେଲା ଯେ ସିଲ୍ଭର ବା ଆଇସୋଟୋପ ଯେହି $1/v$ ନିୟମ ଠିକ୍ ଭାବରେ ପାଳନ କରୁ ନଥିଲେ; କିନ୍ତୁ ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ନିଉଟ୍ରନ ଶକ୍ତି ପାଇଁ ସେମାନଙ୍କର ଅସାଧାରଣ ଭାବରେ ଉଚ୍ଚ ଶୋଷଣ କ୍ଷମତା ରହୁଥିଲା । କେତେ ନିଉଟ୍ରନର ଏକ ସଙ୍କୀର୍ଣ୍ଣ ବ୍ୟାଣ୍ଡର ଶକ୍ତି ଉପରେ ସିଲ୍ଭର ସକ୍ରିୟତା ପ୍ରଧାନତଃ ନିର୍ଭର କରୁଥିଲା; ସେହି ବ୍ୟାଣ୍ଡପାଇଁ ଏହାର ଶୋଷଣ ମଧ୍ୟ ଅନୁରୂପରେ ଅତ୍ୟଧିକ ଥିଲା । ଆଇସୋଟୋପରେ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ବ୍ୟାଣ୍ଡ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହେଉଥିଲା । ଅମାଲ୍ଡି ଓ ଫର୍ମି ଦେଖାଇଲେ, ତଥାକଥିତ ସଂନାଦୀ-ଶୋଷକ ବ୍ୟାଣ୍ଡଗୁଡ଼ିକ କେତେକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ଏକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଭୋଲ୍ଟର ଏକ ଭଗ୍ନାଂଶ ମାତ୍ର । ଏହି ସଂନାଦଗୁଡ଼ିକର ଅବସ୍ଥାର ଦ୍ରବ-ବିନ୍ଦୁ ମଡ଼େଲ କଳ୍ପନା କରିବାର କାରଣ ହୋଇଥିଲା ।

ଅଧିକ ସୂକ୍ଷ୍ମତର କୌଶଳ ସବୁ ଗଢ଼ି ଉଠିବା ଫଳରେ ନିମ୍ନଶକ୍ତି-ନିଉଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକର ସଂନାଦମାନଙ୍କ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଆମର ଜ୍ଞାନ ବହୁତ ପରିମାଣରେ ବଢ଼ି ଯାଇଥିଲା । ଏଥିରୁ



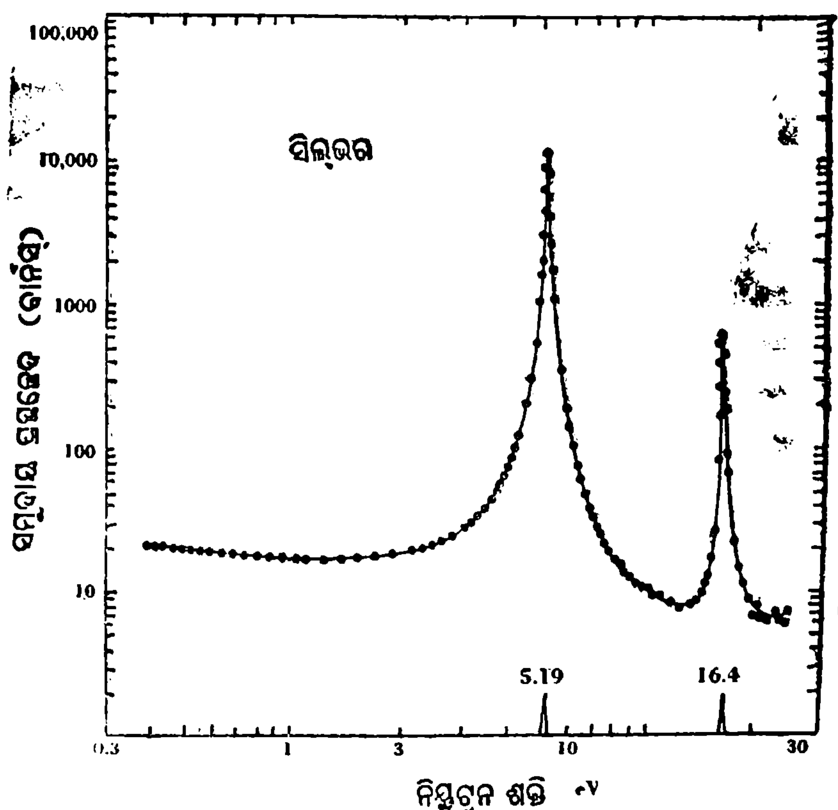
[ଚିତ୍ର ୨୪.୨୨ ନିଉଟ୍ରନ ଗତିବେଗ ବଛା । Be ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁରେ ଉତ୍ପନ୍ନ ନିଉଟ୍ରନ ପାରାଫିନ ଖଣ୍ଡରେ ମନ୍ଥର କରାଯାଉଛି ଓ ଚିହ୍ନଟକାରୀର ସିଗ୍ନାଲ ପାଇଁ ଲାଗୁଥିବା ସମୟଦ୍ୱାରା ବଛାଯାଉଛି]

ଗୋଟିଏ ନ୍ୟୁଟ୍ରନ ଗତିବେଗ ବଛା: ଚିତ୍ର '୫.୨୨'ରେ ଏହା ଦେଖାଇ ଦିଆ ଯାଇଅଛି । ଗୋଟିଏ ସାଇକ୍ଲୋଟ୍ରୋନ ଦ୍ୱାରା ତ୍ୱରାନ୍ୱିତ ଡ୍ୟୁଟେରନ ବ୍ୟବହାର କରି $Be^9(d, n)B^{10}$ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ନ୍ୟୁଟ୍ରନ ଉତ୍ପାଦନ କରାଯାଏ ଓ କେତେକ ସେଣ୍ଟିମିଟର ପାରାଫିନ ଦ୍ୱାରା ଏହାକୁ "ଢାପୀୟ" କରାଯାଏ । ଯେଉଁ ବସ୍ତୁର ଶୋଷଣ କ୍ଷମତା ପର୍ଯ୍ୟାଲୋଚନା କରିବା କଥା, ତା ମଧ୍ୟଦେଇ ମନ୍ଥର ନ୍ୟୁଟ୍ରନକୁ ଗତି କରାଯାଏ ଓ ତାପରେ କିଛି ଦୂରରେ ଥିବା ଡିଟେକ୍ଟରକୁ ଏହା ଦିଆଯାଏ । ସାଇକ୍ଲୋଟ୍ରୋନକୁ ଏପରି ଚାଳନା କରାଯାଏ, ଯେପରିକି ଅଳ୍ପ ସମୟ ପାଇଁ ଝଲକା ଝଲକା ହୋଇ ନ୍ୟୁଟ୍ରନ ଉତ୍ପନ୍ନ ହୋଇଥାଏ ଓ ଡିଟେକ୍ଟରକୁ ଏପରି ସଜାଯାଏ ଯେପରିକି ଏହା କେବଳ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ସମୟରେ (ଅଳ୍ପ ପରିସର ମଧ୍ୟରେ) ସେ ପଥକୁ ଅତିକ୍ରମ କରୁଥିବା ନ୍ୟୁଟ୍ରନମାନଙ୍କୁ ଗଣନା କରିବ । ଏହାଦ୍ୱାରା ଗତିବେଗ ବଛା ସମ୍ଭବ ହୋଇଥାଏ । ଗୋଟିଏ ସାଧାରଣ ବ୍ୟବହୃତ ବ୍ୟବସ୍ଥାରେ, ଡିଟେକ୍ଟର ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଦୂରତା ଥିଲା 6·4m; 1 – eV ନ୍ୟୁଟ୍ରନପାଇଁ ଅତିକ୍ରମ କରିବା ସମୟ ଥିଲା 470μs । ସମୟ ବ୍ୟବଧାନ 5μs ହେଲେ, 1000eV ଶକ୍ତି ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଉଚ୍ଚ ଶକ୍ତି ବଛାଯାଇପାରିବ ।

ବିଶେଷଭାବରେ ସ୍ୱଳ୍ପ-ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ନ୍ୟୁଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଅନ୍ୟ ଗୋଟିଏ ଯନ୍ତ୍ର ବ୍ୟବହୃତ ହୁଏ- ଏହାର ନାମ କ୍ରିଷ୍ଟାଲ ସ୍ପେକଟ୍ରୋମିଟର । ତାପୀୟ ନ୍ୟୁଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଡି ବ୍ରଗ୍ଲି ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ କ୍ରିଷ୍ଟାଲମାନଙ୍କରେ ଲାଟିସ୍ ବ୍ୟବଧାନ ସହିତ ତୁଳନୀୟ ଏବଂ ସେଗୁଡ଼ିକ ଏହି ଲାଟିସ୍‌ମାନଙ୍କଦ୍ୱାରା ବ୍ରାଗ୍‌ଙ୍କ ନିୟମ ଅନୁସାରେ ବିକ୍ଷେପିତ ହୋଇଥାନ୍ତି । ନିଉକ୍ଲିୟର ରିଆକ୍ଟରରୁ ବହୁ ପରିମାଣରେ ନ୍ୟୁଟ୍ରନ ମିଳିବାରୁ ନିଉଟ୍ରନର ବିଚ୍ଛୁରଣ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ଅବଶୋଷଣ ସଂକ୍ରାନ୍ତରେ ଓ ସମାଙ୍ଗୀ ଶକ୍ତିରେ ମିଳିବା ସମ୍ଭବ ହେଲା । ଏହି ପରୀକ୍ଷାରେ ସାମ୍ପଲଟିକୁ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛରେ ରଖାଯାଏ ଓ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛର ବିକ୍ଷେପ କ୍ରିଷ୍ଟାଲର କୋଣରେ ଫଳନ ଭାବରେ ମାପ କରାଯାଏ । ଚିତ୍ର '୫.୩'ରେ ସିଲଭର ପାଇଁ ମିଳିଥିବା ଦୁଇଟି ସଂନାଦ ଅଙ୍କି ଦେଖା ଦର୍ଶାଯାଇଅଛି । କ୍ରିଷ୍ଟାଲଦ୍ୱାରା ମିଳୁଥିବା ସଂନାଦ ଶକ୍ତି ଓ ସିଧାସଳଖ ପଥ ଅତିକ୍ରମ କରିବା ସମୟ ମାପରୁ ମିଳୁଥିବା ସଂନାଦ ଶକ୍ତିର ମେଳରୁ ନ୍ୟୁଟ୍ରନ ଡିବ୍ରଗ୍ଲିଙ୍କ ସମ୍ପର୍କ କେତେଦୂର ଭଲ ହେବ, ତାହା ନିର୍ଣ୍ଣୟ କରାଯାଇପାରୁଛି ।

25·16 ନିଉକ୍ଲିୟସର ଶକ୍ତି ସ୍ତର :

ନିଉକ୍ଲିୟସ ପ୍ରତିକ୍ରିୟାର ପର୍ଯ୍ୟାଲୋଚନାର ଗୋଟିଏ ପ୍ରଧାନ ଫଳ ହେଉଛି ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର ଉତ୍ତେଜିତ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକର ଚିହ୍ନଟ ଓ ନିରୂପଣ । ପାରମାଣବିକ ଘଟଣାରେ, ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରୁ ମିଳୁଥିବା ଉତ୍ତେଜିତ ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକର ପର୍ଯ୍ୟାଲୋଚନା ଆମର ଉନ୍ନତ ପରମାଣୁ ମଡେଲର ତାତ୍ତ୍ୱିକ ଆଲୋଚନାର ପଥ ନିର୍ଦ୍ଦେଶ କରିଥିଲା । ନିଉକ୍ଲିୟସର ଶକ୍ତି ସ୍ତରମାନଙ୍କର ବିଭିନ୍ନ ଶ୍ରେଣୀ ମଧ୍ୟରେ ଯେଉଁଗୁଡ଼ିକ ସୁଧାମଲକ୍ଷ ବୁଝାଯାଇପାରେ, ଆମେ ସେଥିରୁ କେତୋଟି ଏଠାରେ ଆଲୋଚନା କରିବା ।



[ଚିତ୍ର 25·13 ନିୟୁଟ୍ରନ ବନ୍ଦୀ ସଂଘାତ ଗୋଟିଏ ସ୍ଫଟିକ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରୋମିଟରରେ ସିଲ୍ଭରରେ ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣ କରାଯାଇଅଛି]

(କ) ଦର୍ପଣ-ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର ଶକ୍ତିସ୍ତର :

ଅନୁ: ୨୫·୧୧ରେ ଦର୍ପଣ ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କ ତୁଳନା କରି P-P ଓ n-n ବଳର ନିଉକ୍ଲିୟର ଅଂଶ ସମାନ ବୋଲି ସିଦ୍ଧାନ୍ତ କରାଯାଇଥିଲା । ସେଠାରେ ଦିଆଯାଇ ଥିବା ଯୁକ୍ତି ଅନୁସାରେ, ଥରେ ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଶକ୍ତି ଓ ନିଉଟ୍ରନ ପ୍ରୋଟନ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ତାରତମ୍ୟକୁ ହିସାବକୁ ନେଲେ, କେବଳ ମୂଳ ଅବସ୍ଥାରେ ନୁହେଁ, ଦର୍ପଣ ନିଉକ୍ଲିୟସଙ୍କର ଉତ୍ତେଜିତ ଅବସ୍ଥାରେ ମଧ୍ୟ ଶକ୍ତି ମେଳ ଖାଇବ ବୋଲି ଜଣାଯାଇଥିଲା । ଆହୁ ମଧ୍ୟ, ବୁଝାଯାଇଥିଲା ଯେ ଯଦି ଏ ଅନୁମାନ ଠିକ୍ ହୁଏ ଅନୁରୂପ ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ଅନ୍ୟ ଗୁଣରେ ମଧ୍ୟ

Li^7	Be^7
7.48	7.19
6.56	6.51
4.63	4.55
0.478	0.431

[ଚିତ୍ର ୨୫·୨୪ Li^7 ଓ Be^7ର ଶକ୍ତିସ୍ତର । ମୂଳ ଅବସ୍ଥା ଦୁଇଟି ମନଇଚ୍ଛା ମିଳାଇ ଦିଆଯାଇଛି]

ମିଳିଯିବେ; ଯଥା—କୌଣିକ ସଂବେଗ ଓ ପାରିଟିରେ, ଦର୍ପଣ ନଉକ୍ଲାଇଡ଼ମାନଙ୍କର ଉତ୍ତେଜିତ ସ୍ତରସବୁ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ଭାବରେ ଲକ୍ଷ୍ୟଯୁକ୍ତ ମିଳଯାନ୍ତି । ଗୋଟିଏ ସରଳ ଉଦାହରଣ ଭାବରେ Li^7 ଓ Be^7ର ଶକ୍ତିସ୍ତରସବୁ ଚିତ୍ର ୨୫·୨୪ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଛି । ଏହି ଚିତ୍ରରେ ଦୁଇ ମୂଳ ଅବସ୍ଥାକୁ ମନଚ୍ଛା ସମାନ କରି ଦିଆଯାଇଛି । କାରଣ ଏହାଦ୍ୱାରା ଅନ୍ୟ ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକରେ ମେଳତ ଦେଖାଇବା ସହଜ ହେବ । ଉପର ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକରେ ମେଳତ ପୂରା ଠିକ୍ ହେଉନାହିଁ, ସାଧାରଣତଃ ଉଚ୍ଚତର Z ବିଶିଷ୍ଟ ନଉକ୍ଲିୟସରେ ସାମାନ୍ୟ ଭଲଆଡ଼କୁ ଘୁଞ୍ଚିବାର ଦେଖାଯାଉଛି ।

(ଖ) ଯୁଗ୍ମ ଆଇସୋବାର :

ଯୁଗ୍ମ ଆଇସୋବାରମାନଙ୍କର ପର୍ଯ୍ୟାଲୋଚନାରୁ ନଉକ୍ଲିୟର ବଳ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଅଧିକ କଥା ଶିଖିହେବ । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ଯଦି ଆମେ $_4Be^{10}$ ଓ $_5B^{10}$ ନେବା, ଏମାନେ ଅନ୍ତ୍ୟସ୍ଥଳରେ ଛଅଟି ପ୍ରୋଟନ ଓ ଛଅଟି ନିଉଟ୍ରନ ନେଇ ଗଠିତ (ଯୁଗ୍ମ ଥରେ ବିଭିନ୍ନ ପ୍ରକାରର ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଗଣନା କରିବା ଉଦ୍ଦେଶ୍ୟରେ), ଏଥିରେ ଯଥାକ୍ରମେ ଦୁଇଟି ନିଉଟ୍ରନ ଓ ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନ ନିଉଟ୍ରନ ଦଳ ଯୋଗ କରାଯାଇଛି । ଆମେ ଦେଖିବା ଯେ Be^{10}ରେ କେବଳ $n-n$ ବନ୍ଧନ ବଦଳରେ B^{10}ରେ $P-P$ ବନ୍ଧନ ନହୋଇ $P-n$ ବନ୍ଧନ ହୋଇଅଛି । ଯଦି ଏହି ଦୁଇ ନଉକ୍ଲାଇଡ଼ର ନଉକ୍ଲିୟର ବନ୍ଧନଶକ୍ତି ସମାନ ବୋଲି ଦେଖାଯାଏ, ଆମର ଏଥିରୁ ବୁଝାପଡ଼ୁ ଯୁକ୍ତମତ ହେବ ଯେ, ଅନ୍ତତଃ ଲଘୁ ନଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କରେ ଅସମାନ ନଉକ୍ଲିୟନମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ସମାନ ନଉକ୍ଲିୟନମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ସହିତ ସମାନ ଅର୍ଥାତ୍ ବଳଗୁଡ଼ିକ କେବଳ ନଉକ୍ଲିୟନମାନଙ୍କର ଚାର୍ଜ ଅବସ୍ଥାରେ (ଦେଖ ଅନୁଃ ୨୫·୨୮) ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ନୁହନ୍ତି, ସେମାନେ ଚାର୍ଜ ଅନିର୍ଭରଶୀଳ ମଧ୍ୟ ।

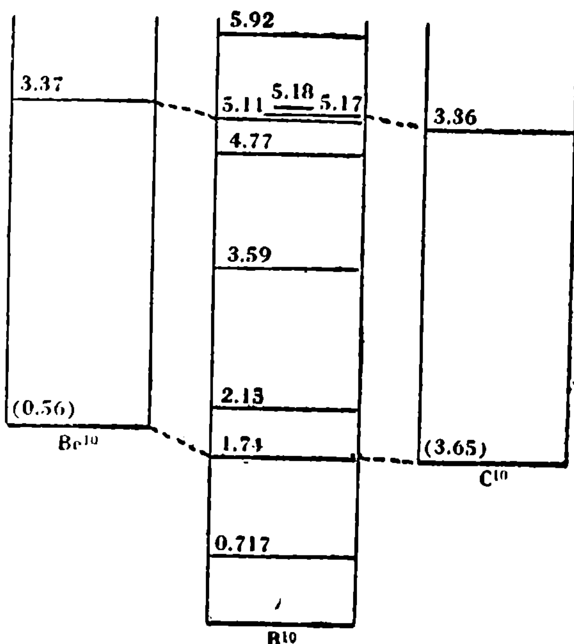
କିନ୍ତୁ, Be^{10} ଓ B^{10}କୁ ତୁଳନା କରିବାରେ ଏକ ଜଟିଳତା ଆସିଯାଏ । କାରଣ ପରବର୍ତ୍ତୀ ଘଟଣାରେ କେବଳ $P-n$ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ପ୍ରୋଟନ ସ୍ଥାନରେ ନିଉଟ୍ରନ ନେଲେ ପରବର୍ତ୍ତୀ ଘଟଣାରେ ରହି ପାରିବେନାହିଁ । ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନ ଓ ଗୋଟିଏ ନିଉଟ୍ରନ ଏକା କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସ୍ତରରେ ସେମାନଙ୍କର ଘୂର୍ଣ୍ଣନସବୁ ସମାନ୍ତର ବା ଅସମାନ୍ତରଭାବେ ଥାଇ

ରହି ପାରନ୍ତି; ମାତ୍ର ଅନ୍ୟପକ୍ଷରେ ଦୁଇଟି ନିଉଟ୍ରନଙ୍କର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ କେବଳ ଅଣସମାନ୍ତର ହେବ । ନିଉଟ୍ରନ ପ୍ରୋଟନ ବିକ୍ଷୁରଣ ପରୀକ୍ଷାରୁ ମନେ ହେଉଛି ଯେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସବୁ ସମାନ୍ତର ଥିବାବେଳେ ନିଉକ୍ଲିୟର ବଳ ଅଧିକ ହେଉଅଛି (ଅନୁ: ୨୫·୨ଖ), ତେଣୁ B^{11}ର ମୂଳ ଅବସ୍ଥାରେ ଥିବା ଗୋଟିଏ ଗୁଣ Be^{10}ରେ ନଷ୍ଟ ହୋଇଅଛି । ଅନ୍ୟପକ୍ଷରେ B^{10}ର ଗୋଟିଏ ଉତ୍ତେଜିତ ଅବସ୍ଥାରେ ଅଧିକା ନିଉଟ୍ରନ ପ୍ରୋଟନ ଯୁଗଳର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଅଣସମାନ୍ତର ହେବ ଓ ଏହି ଅବସ୍ଥାରେ Be^{10}ର ମୂଳ ଅବସ୍ଥାର ଶକ୍ତି ସହିତ ସମାନ ଶକ୍ତି ରହିବା ଉଚିତ । ସେହି ଯୁକ୍ତି Be^{10}ର ଦର୍ପଣ ସ୍ତର ଅର୍ଥାତ୍ $_6C^{10}$ ସ୍ତର ପ୍ରତି ପ୍ରଯୁଜ୍ୟ କାରଣ ଏଥିରେ ଦୁଇଟି ଅଧିକା ପ୍ରୋଟନ ରହିଅଛି । ଏହି ଦୁଇ ନିଉକ୍ଲାଇଡ଼ର ସମସ୍ତ ସ୍ତରର ସମକକ୍ଷ ସ୍ତର B^{10}ରେ ରହିବା ଉଚିତ; କିନ୍ତୁ B^{10}ର କେତେକ ସ୍ତର C^{10}ରେ ବା Be^{10}ରେ ମିଳିବା ସମ୍ଭବ ନୁହେଁ ।

Be^{10}, B^{10} ଓ C^{10}ରେ ନିମ୍ନସ୍ତରରେ ଥିବା ଜ୍ଞାତ ଶକ୍ତିସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ଚିତ୍ର ୨୫·୨୫ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି; ଏଥିରେ ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ ଶକ୍ତି ପାଇଁ ଓ $n-H^1$ର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ତାରତମ୍ୟ ପାଇଁ ସଂଶୋଧନ କରି ଦିଆଯାଇ ବନ୍ଧନଶକ୍ତିର କେବଳ ନିଉକ୍ଲିୟର ଅଂଶସବୁ B^{10}ର ମୂଳ ଅବସ୍ଥା ତୁଳନାରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଛି । ତେଣୁ Be^{10}, 1·44MeV ଉପରଆଡ଼କୁ ଓ C^{10}, 2·05 MeV ତଳଆଡ଼କୁ ଘୁଞ୍ଚାଯାଇଛି । B^{10}, C^{10} ଓ Be^{10}ର ଯେଉଁ ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ ଖଣ୍ଡରେଖାଦ୍ୱାରା ଯୋଡ଼ା ଯାଇଛନ୍ତି, ସେମାନେ କେବଳ ଯେ ଶକ୍ତିରେ ମିଳି ଯାଉଛନ୍ତି ବୋଲି ଦେଖାଯାଉଛି ତା ନୁହେଁ, ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ଗୁଣରେ ମଧ୍ୟ ସେମାନେ ମିଳିଯାଇ ସେମାନଙ୍କର ଘନିଷ୍ଠ ଜ୍ଞାତିତ୍ୱ ସମ୍ବନ୍ଧ ଥିବା ପ୍ରତିପାଦନ କରୁଛନ୍ତି ।

ସାଧାରଣ ଭାବରେ, ଗୋଟିଏ ଦତ୍ତ ସଂଖ୍ୟକ କଣିକା ବିଶିଷ୍ଟ ନିଉକ୍ଲିୟସରେ ପ୍ରୋଟନ ଓ ନିଉଟ୍ରନ ସଂଖ୍ୟାରେ ଯେତେ ଅଧିକ ତାରତମ୍ୟ ହେବ, ସମ୍ଭବ ହେଉଥିବା ପାରସ୍ପରିକ ବିନ୍ୟାସ ସଂଖ୍ୟାରେ ପାଉଲି ନିୟମ ସେତେ ବେଶୀ ବାଧା ଉପୁଜାଇବ ଓ ସମାନ ସମାନ ସଂଖ୍ୟାରେ ପ୍ରୋଟନ ଓ ନିଉଟ୍ରନ ଥିଲେ ଯେତେଗୋଟି ସ୍ତର ମିଳନ୍ତା, ତା ତୁଳନାରେ ସେତେ କମ୍ ସ୍ତର ମିଳିବ । ଏଥି ଅନୁସାରେ, ନିଉକ୍ଲିୟର ଅବସ୍ଥାନର ଏହି ଗୁଣ ତଥାକଥିତ

ସମାଙ୍ଗୀ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଲମ୍ବଗ୍ରସ୍ଥ ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇପାରିବ, † $T_z = \frac{1}{2}(N-Z)$ । T_zର ମୂଲ୍ୟ ଯେତେ ବେଶୀ ହେବ, ସମ୍ଭବ ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକର ସଂଖ୍ୟା ସେତିକି କମ୍ ହେବ ଏବଂ



[ଚିତ୍ର ୨୫·୨୫ Be^{10}, B^{10} ଓ C^{10}ର ଶକ୍ତିସ୍ତରଗୁଡ଼ିକ । Be^{10} ଓ C^{10}ର ମୂଳ ଅବସ୍ଥା ସ୍ଥିର ବୈଦ୍ୟୁତିକ ଶକ୍ତି ଓ $n-H^1$ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ତାରତମ୍ୟ ଲାଗି ଘଟୁଥାଇଛି । ଅନୁରୂପସ୍ତରସବୁ ଖଣ୍ଡରେଖାଦ୍ୱାରା ଯୋଡ଼ାଯାଇଛି ।

---

† ଇ. ପି. ଉଇଗନର, Phys. Rev. 51 : 106 (1937) । ତରଙ୍ଗଯାନ୍ତ୍ରିକ-ମତେ ହିସାବ କଲେ ସମାଙ୍ଗୀ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସାଧାରଣ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ପରି କାର୍ଯ୍ୟ କରେ। ଠିକ୍ ଯେପରି ଗୋଟିଏ ନିଉକ୍ଲିୟନର ଦୁଇଟି ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଅବସ୍ଥା ଗୋଟିଏ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଭେକ୍ଟରର ଦୁଇଟି ସଂଯୋଜନରେ ପ୍ରକାଶିତ ହୁଏ, ଗୋଟିଏ ନିଉକ୍ଲିୟର ଦୁଇଟି ସ୍ୱର୍ଣ୍ଣ ଅବସ୍ଥା ଅର୍ଥାତ୍ ନିଉଟ୍ରନ ଓ ପ୍ରୋଟନ, ସମାଙ୍ଗୀ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଭେକ୍ଟରର ଦୁଇଟି ସଂଯୋଜନଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୋଇପାରେ ।

ଦର T_z ଥିବା ଗୋଟିଏ ନିଉକ୍ଲାଇଡ଼ ପାଇଁ ଯେଉଁ ସ୍ତର ସମ୍ଭବ, ତାହା ଅନ୍ୟ ସବୁ ନିଉକ୍ଲାଇଡ଼ ପାଇଁ T_zର ନିମ୍ନତର ପରିମାଣରେ ମିଳିବ । ଭିନ୍ନ ସ୍ତର ସାଧାରଣତଃ ଗୋଟିଏ ସମାଇସୋ-ସ୍ପିନ ବହୁଳତାର ସଂଯୋଜକଗୁଡ଼ିକୁ ପ୍ରକାଶ କରିଥାଏ, T_zର ସର୍ବାଧିକ ମୂଲ୍ୟ T କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟାଦ୍ୱାରା ଏହା ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇଥାଏ । ତେଣୁ B^{10}ର ସମସ୍ତ ଅବସ୍ଥାର $T_z=0$; Be^{10} ବା C^{10}ରେ ମୂଳ ଅବସ୍ଥା ଓ ପ୍ରଥମ ଉତ୍ତେଜିତ ଅବସ୍ଥା ମିଳନାହିଁ (ଯାହା ପାଇଁ $T_z=1$ ଓ -1) ଓ ସେଥିପାଇଁ ଏମାନେ ସମାଇସୋ-ସ୍ପିନ ଏକକ $T=0, T_z=0$ । Be^{10} ଓ C^{10}ର ମୂଳ ଅବସ୍ଥା ଓ B^{10}ର 1·74MeV ଅବସ୍ଥା ଗୋଟିଏ ସମାଇସୋ-ସ୍ପିନତ୍ରୟ ସୃଷ୍ଟି କରୁଛି । $T=1$, $T_z=1, 0, -1$ । ଯେପରି ପାରମାଣବିକ ସ୍ତରମାନଙ୍କରେ ସୂକ୍ଷ୍ମଗଠନ ସାଧାରଣ ସ୍ପିନର ଭିନ୍ନ ସଂଯୋଜନକୁ ନେଇ ଗଠିତ, ଏକପ୍ରକାରରେ ସେହିଭଳି ଭିନ୍ନ ଆଇସୋବାର ନିଉକ୍ଲିୟସ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରସ୍କୋପିରେ ସୂକ୍ଷ୍ମଗଠନ ବୁଝାଇଥାଏ । ତେଣୁ ଏହାଦ୍ୱାରା ପୁଣି ଥରେ ଜୋର ଦେଇ କୁହାଗଲା ଯେ, ନିଉକ୍ଲିୟସର ବଳ କେତେବେଳେ ଚାର୍ଜ ଅଛି. ତାହାପରେ ନୁହେଁ, ମୋଟ କଣିକା ସଂଖ୍ୟା ଉପରେ ପ୍ରଧାନତଃ ନିଉକ୍ଲିୟସର ଗୁଣ ନିର୍ଭର କରେ ।

25·17 ସ୍ତରକୋଷ୍ଠ ମଡେଲ:

ଯେଉଁ ପରୀକ୍ଷାଗୁଡ଼ିକ ଫଳରେ ନିଉକ୍ଲିୟସ ପ୍ରତିକ୍ରିୟାମାନଙ୍କ ପାଇଁ ତ୍ରବ-ବିନ୍ଦୁ ନିଉକ୍ଲିୟସ ମଡେଲ ଜନ୍ମ ଲଭିଥିଲା, ସେଗୁଡ଼ିକ ପୂର୍ବ ଅନୁଚ୍ଛେଦମାନଙ୍କରେ ଆଲୋଚିତ ହୋଇଅଛି । ଆମେ ଦେଖିଥାଉଁ ଯେ, ନିଉକ୍ଲିୟନଗୁଡ଼ିକ ନିଉକ୍ଲିୟସ ମଧ୍ୟରେ ଅତି ନିକଟ ଭାବରେ ପାରସ୍ପରିକକ୍ରିୟା ଘଟାଇବା ହିଁ ମଡେଲର ପ୍ରଧାନ ବିଷୟ । କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ରଭାବରେ ଗୋଟିଏ ହାରାହାରି ବଳକ୍ଷେତ୍ରରେ ବିଚରଣ କରିବାର ଯେକୌଣସି କଳ୍ପନା ନିଉକ୍ଲିୟସର ପ୍ରତିକ୍ରିୟାଠାରୁ ଭିନ୍ନପ୍ରକାରର ବହୁ ଫଳାଫଳ ଦେବ । ହେଲେ ବି, ତାହାରେ ସଙ୍ଗେ ଉପସ୍ଥିତ ହଟରେ ଯୁଗପତ୍ କାର୍ଯ୍ୟ ଆରମ୍ଭ ହୋଇଥିଲା; ଏଥିରେ କ୍ରମେ ସ୍ପଷ୍ଟ ହୋଇଗଲା ଯେ ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର କେତେକଗୁଣ ବୁଝାଇବାପାଇଁ ମୁକ୍ତ-କଣିକା ମଡେଲ ଆଶ୍ଚର୍ଯ୍ୟଜନକଭାବେ ଭଲ ଫଳ ଦେଉଛି । ଏହି ଚିନ୍ତାଧାରାର ଉନ୍ନତ ତଥାକଥିତ ମ୍ୟାଜିକ ସଂଖ୍ୟାର ଆବିଷ୍କାର ସହିତ ଜଡ଼ିତ; ନିଉଟ୍ରନ ଓ ପ୍ରୋଟନର ଯେଉଁ ଅବସ୍ଥାନ କେତେକ ବିଶେଷ ଗୁଣ ପ୍ରକାଶ କରିଥାଏ, ତାହାହିଁ ମ୍ୟାଜିକସଂଖ୍ୟା ଦେଇଥାଏ ।

(ଗ) ନିଉକ୍ଲିୟସର ଗଠନରେ ଆବର୍ତ୍ତନ :

ରାସାୟନିକ ଗୁଣରେ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ଆବର୍ତ୍ତନ ପାରମାଣିକ ଗଠନର ଏକ ଚମତ୍କାର ଘଟଣା । କିପରି ଇଲେକ୍‌ଟ୍ରନ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ ସାହାଯ୍ୟରେ ଏହାର ସରଳ ବର୍ଣ୍ଣନା ସମ୍ଭବ ହେଲା, ତାହା ଆଗେ ଆମେ ଦେଖିଥାଉଁ ଓ ଗୋଟିଏ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ ବା ଅନୁପ୍ରକୋଷ୍ଠ ପୂର୍ଣ୍ଣ ହେବାଦ୍ୱାରା ପରମାଣୁ କଉଡ଼ର ପ୍ରବଳ ସ୍ଥିରତା ହେବା ମଧ୍ୟ ଦେଖିଥାଉଁ (ଅନୁ ୧୫.୩) । ଏହି ଘଟଣାର ଅନୁରୂପ ଘଟଣା ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଖୋଜିବା ବିଶେଷ କରି ସ୍ଥାୟୀ ନିୟୁକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କଠାରେ ପାଇବାକୁ ଆଶା କରିବା ସ୍ୱାଭାବିକ । ଲଘୁତମ ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ $A=2Z=4n$ (ଏଠାରେ n ଗୋଟିଏ ପୂର୍ଣ୍ଣସଂଖ୍ୟା) ପ୍ରକାରର ନିଉକ୍ଲିୟସ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ପ୍ରକାରର ସ୍ଥାୟିତ୍ୱ ବହୁକାଳରୁ ସ୍ୱୀକାର କରାଯାଇଥିଲା । ଏହି ସ୍ଥାୟିତ୍ୱ ଚିତ୍ର ୧୫.୩ରେ ଦିଆଯିବା ବନ୍ଧନଶକ୍ତି ରେଖାରେ ଶୃଙ୍ଗମାନଙ୍କରେ ଦେଖାଯାଉଛି । ଏହି ପର୍ଯ୍ୟବେକ୍ଷଣ ଓ ବହୁ ପ୍ରାକୃତିକ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ବସ୍ତୁରୁ α କଣିକା ନିର୍ଗତ ହେଉଥିବାରୁ, α କଣିକା ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର ଗଠନରେ ଏକ ମୌଳିକ ଏକକ ବୋଲି କେତେଦିନ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ବିଶ୍ୱାସ କରାଯାଉଥିଲା । ମାତ୍ର ଗୁରୁ ନିଉକ୍ଲିୟସଗୁଡ଼ିକରେ ପ୍ରୋଟନ ଅପେକ୍ଷା ଅଧିକ ସଂଖ୍ୟକ ନିଉଟ୍ରନ ଥିବାରୁ ଓ ଏହି ଅଧିକା ନିଉଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ, ପ୍ରୋଟନଗୁଡ଼ିକ ଯେତେ ଯୋଡ଼ରେ ବାନ୍ଧିହୋଇ ରହିଛନ୍ତି, ସେତେ ଯୋଡ଼ରେ ବାନ୍ଧି ହୋଇ ରହିଥିବାରୁ α-କଣିକା ଏକ ମୌଳିକ ଏକକ ନୁହେଁ ବୋଲି ଜଣାଯାଉଛି । ଲଘୁ ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଦୁହିଁଙ୍କ ପାଇଁ ସମାନ ସ୍ଥିରତା; ଯୁଗ୍ମସଂଖ୍ୟକ ନିଉଟ୍ରନ ଓ ପ୍ରୋଟନ ଏପରି ଅବସ୍ଥାନର ଉଚ୍ଚ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ଦ୍ୱାରା (ଅନୁ: ୧୫.୭) ବୁଝାଯାଇପାରେ ।

1932 ମସିହାରେ ବାର୍ଟଲେଟ ପ୍ରଥମେ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ ଗଠନର ଅନ୍ୟ ବଳାବଳ ଥିବାର ପ୍ରସ୍ତାବ ଦେଇଥିଲେ । ସେ ଦେଖିଲେ, ପ୍ରକୃତିରେ ମିଳୁଥିବା ଆଇସୋଟୋପର ଗଠନ ପ୍ରଣାଳୀ O^{16}ଠାରେ କେତେକ ପରିମାଣରେ ବଦଳି ଯାଉଛି ଓ ପୁଣି ପରେ A^{36} ଠାରେ ଏପରି ହେଉଅଛି । He^4 ଓ O^{16} ମଧ୍ୟରେ ସବୁ ସ୍ଥାୟୀ ନିଉକ୍ଲାଇଡ୍ ନିମ୍ନ ଶ୍ରେଣୀର ଅନ୍ତର୍ଗତ, $He^4+n+P+n+P+\cdots$ (O^{16}ରୁ A^{36} ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଶ୍ରେଣୀଟି ହେଲା, $O^{16}+n+n+P+P+n+n+\cdots\cdots$ । ଏଥିରୁ ପ୍ରସ୍ତାବ

କରାଗଲା, ଦଉ କୌଣିକ ସଂବେଗ ବିଶିଷ୍ଟ ଓ ପ୍ରୋଟନର ପ୍ରକୋଷ୍ଠଗୁଡ଼ିକ ପୂର୍ଣ୍ଣ କରିବା ମହିତ ଏହି ପରିବେର୍ତ୍ତନ ସଂଶ୍ଳିଷ୍ଟ ହୋଇପାରେ । ପ୍ରଥମ S ପ୍ରକୋଷ୍ଠର (କକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗ = 0) କେବଳ ଦୁଇଟି ନିଉଟ୍ରନ ଓ ଦୁଇଟି ପ୍ରୋଟନ ପାଉଲିଙ୍କ ନିୟମର ବ୍ୟତିକ୍ରମ ନକରି ରହିପାରିବେ । ତାପରେ P ପ୍ରକୋଷ୍ଠ, ଏହାର କକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗ 1; ଏଥିରେ ଛଅଟି ନିଉଟ୍ରନ ଓ ଛଅଟି ପ୍ରୋଟନ ପାଇଁ ସ୍ଥାନ ଅଛି ଓ ଏହା O^{16}ଠାରେ ପୂର୍ଣ୍ଣ ହୋଇଯିବ । d ପ୍ରକୋଷ୍ଠରେ 10ଟି ନିଉଟ୍ରନ ଓ 10ଟି ପ୍ରୋଟନ ରହୁଥିବାରୁ ଏହା A^{36} (Z = 18)ଠାରେ ପୂର୍ଣ୍ଣ ହୋଇଯିବ । ସାଧାରଣ ଭାବରେ କହିଲେ, ପରମାଣୁରେ ରହିବାଭଳି ପ୍ରତି ପ୍ରକାର କଣିକାର ସଂଖ୍ୟା ପ୍ରତ୍ୟେକ ପ୍ରକାର ପ୍ରକୋଷ୍ଠରେ ହେବ $2\,(2l+1)$ । ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ପ୍ରକୋଷ୍ଠମାନଙ୍କର ଅବସ୍ଥିତ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ପ୍ରମାଣ 1933 ଓ 1934 ମଧ୍ୟରେ ଏଲ୍‌ସାସେରଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଓ ଗେଣେନହେମଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ବର୍ଣ୍ଣାଯାଇଥିଲା । ସେମାନେ ନିଉଟ୍ରନ ଓ ପ୍ରୋଟନ ସଂଖ୍ୟାର ଅନେକ ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ ଏକ ପ୍ରକାର ସ୍ଥାୟିତ୍ୱର ସୂଚନା ଦେଇଥିଲେ; ସେହି ମୂଲ୍ୟମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ Z = 20, N ବା Z = 50, 82 ଓ N = 126 ଅନ୍ତର୍ଗତ । ଦୁର୍ଭାଗ୍ୟର ବିଷୟ ଯେ ଏଥି ସମ୍ବନ୍ଧରେ ମିଳୁଥିବା ତାଲିକା ଯଥେଷ୍ଟ ନୁହେଁ ଓ ସେମାନଙ୍କର ତାଲିକାରେ ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ 'ମ୍ୟାଜିକ ସଂଖ୍ୟା' ନହୋଇଥିବା ସଂଖ୍ୟା ରହିଥିବାରୁ ସେମାନଙ୍କର ଯୁକ୍ତି ଦୁର୍ବଳ ହୋଇଯାଇଛି ।

(ଖ) କେନ୍ଦ୍ରୀୟକ୍ଷେତ୍ର ଆସନ୍ନକରଣ :

ହାର୍ଟି କେନ୍ଦ୍ରୀୟକ୍ଷେତ୍ର ମଡ଼େଲ୍ ଅନୁସାରେ ହିସାବ କରି ପ୍ରକୋଷ୍ଠମାନଙ୍କର ଅବସ୍ଥିତ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ବୁଝାଇବାର ଚେଷ୍ଟା କରାଗଲା । ହାର୍ଟିଙ୍କ ମଡ଼େଲରେ ନିଉକ୍ଲିୟନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଟେନ୍‌ସର ବିଭବ କିମ୍ବା କୌଣସି ଏକ କେନ୍ଦ୍ରୀୟ କ୍ଷେତ୍ରଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇଥାଏ । ଏହିପରି ପାରମାଣବିକ କ୍ଷେତ୍ରରେ ବିଚାର କଲାବେଳେ ମୂଳତଃ, ପ୍ରଥମ ଆସନ୍ନକରଣରେ, ମଣ୍ଡଳର ତରଙ୍ଗ ଫଳନଟିକୁ ଏକ କଣିକା ତରଙ୍ଗଫଳନମାନଙ୍କର ହରଲରୈଖିକ ସମାହାର ଭାବରେ ପ୍ରକାଶ କରାଯାଇଥାଏ; ଏଠାରେ ମଧ୍ୟ ସେହିପରି କରାଯାଇ ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ ବିକର୍ଷଣର ପ୍ରଧାନ ଫଳକୁ ବିଭବ ଫଳନର ଅନ୍ତର୍ଗତ କରାଯାଏ । ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାଗୁଡ଼ିକୁ, ଯଥା—ଅବଶିଷ୍ଟ ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ ବିକର୍ଷଣ ବା ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-କକ୍ଷ ପ୍ରଭାବ, ଅଲୋଡ଼ନ ପ୍ରଣାଳୀରେ ହିସାବକୁ ନିଆଯାଇଥାଏ ।

ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସରେ କେନ୍ଦ୍ରୀୟ କ୍ଷେତ୍ରର ପ୍ରଥମ ଆସନ୍ନକରଣ ସ୍ତରରେ, ଗୋଟିଏ ସରଳ ବର୍ଗକୂପ ବିଭବ ଅନୁମାନ କରାଯାଏ । ଯେହେତୁ ବିଭବ କେବଳ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧର ଫଳନ, ଶ୍ରୋଡିଞ୍ଜରର ସମୀକରଣକୁ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧୀୟ ଓ କୌଣିକ ଅଂଶରେ ବିଭକ୍ତ କରାଯାଏ । ଏଥିରେ କୋଣ-ନିର୍ଭରଶୀଳ ସମାଧାନ ହାଇଡ୍ରୋଜେନରେ ଅନୁରୂପ ସମାଧାନ ସହ ପୁରାପୁରି ସମାନ । ବିଭବ ପାଇଁ ନିଆଯାଇଥିବା ଗଭୀରତା ଓ ପ୍ରସ୍ଥ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରି କେତେ-ଗୁଡ଼ିଏ ଅଟଳ ସମାଧାନ ମିଳେ; ଏଗୁଡ଼ିକ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା ν, L, m_l ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୁଅନ୍ତି । ଏଠାରେ L ଓ m_l କକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗକୁ l ଓ ନିଆଯାଇଥିବା କୌଣସି ଅକ୍ଷ ଉପରେ ଏହାର ଲମ୍ବପ୍ରକ୍ଷେପକୁ m_l ଓ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧୀୟ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟାକୁ ν ବୁଝାଯାଇଅଛି । νର ଏପରି ସଂଜ୍ଞା ନିଆଯାଇଅଛି, ଯେପରିକି ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧୀୟ ସମାଧାନରେ ନୋଡ଼ମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ν ହେବ । ($r=0$ ଠାରେ ଥିବା ନୋଡ଼କୁ ବାଦ ଦିଆଯିବ ଓ $r=\infty$ ଠାରେ ଥିବା ନୋଡ଼କୁ ହିସାବ କରାଯିବ.† । ଗୋଟିଏ ଦଶା ଅବସ୍ଥାର ଶକ୍ତି ସ୍ପଷ୍ଟଭାବରେ ν ଓ L ଉଭୟ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରିଥାଏ ଓ ଏଥିରେ ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକର କ୍ରମ ହେଲା $1S$, $1P$, $1D$, $2S$, $1F$, $2P$ ·····। ଏପରି କ୍ରମ ଚିତ୍ର ୨୫·୨୬ରେ ବାମ ପାଖରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । ନିଉଟ୍ରନ ଓ ପ୍ରୋଟନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ପ୍ରକୃତ ଶକ୍ତି ବିଭିନ୍ନ ହୋଇପାରେ, ବିଶେଷ କରି ଗୁରୁ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କରେ ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ ପ୍ରଭାବ ଅଧିକ ହୋଇଥିବାରୁ ଦୁହିଁଙ୍କର ଶକ୍ତି ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ହେବ । ଯାହା ହେଲେବି, ଗୋଟିଏ "ସ୍ତରକୋଷ"ରେ $2(2l+1)$ କଣିକା ରହିଲେ, 2, 8, 18, 20, 34, 40, 58··· ନିଉଟ୍ରନଙ୍କ ପାଇଁ ଓ ସେହି ସେହି ସଂଖ୍ୟକ ପ୍ରୋଟନଙ୍କପାଇଁ ବନ୍ଦ ସ୍ତରକୋଷ ସବୁ ମିଳିବ । କୌଣସି ପ୍ରାକୃତିକ ଭାବରେ 50, 82 ଓ 126 ସଂଖ୍ୟାଗୁଡ଼ିକ

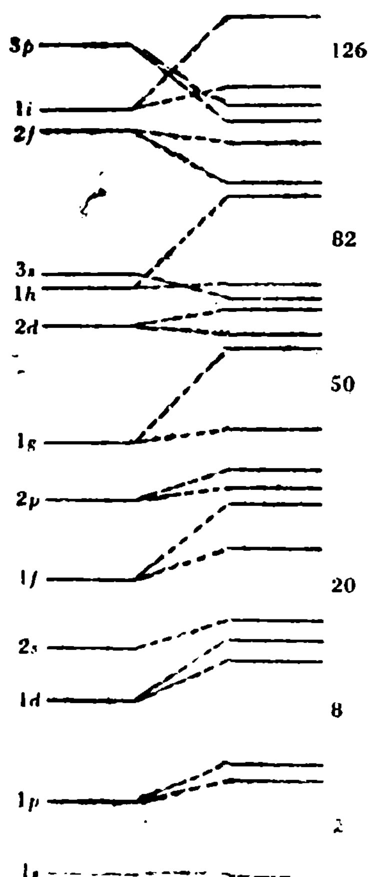
---

† ଏହି ପାରମାଣବିକରେ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରୋସ୍କୋପୀରେ ବ୍ୟବହୃତ ν କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା n ନୁହେଁ । ତେବେ ଆଉ ଏକପ୍ରକାର ସାଧାରଣଭାବରେ ବ୍ୟବହୃତ ସଙ୍କେତ ଅନୁସାରେ, ସମାଧାନସବୁ ଗୋଟିଏ ମୋଟ କ୍ୱାଣ୍ଟମ ସଂଖ୍ୟା n (ଅର୍ଥାତ୍ $(\nu+L)$ ଓ L ଦ୍ୱାରା ପ୍ରକାଶିତ ହୁଏ; ଏହି ସଙ୍କେତରେ ସ୍ତରର କ୍ରମ ହେଲା $1S$, $2P$, $3d$, $2S$·····

ଅସୁବିଧା । ଅବଶ୍ୟ ମନଇଚ୍ଛା କେତେକ ପଦ ଲୋପ କରିଦେଲେ ସେଗୁଡ଼ିକ ସୃଷ୍ଟି କରିହେବ, ଯଥା—2S ଓ 2P ।

(ଗ) ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-କକ୍ଷ ଯୋଡ଼ିବା :

ବସ୍ତୁତଃ ଏହି ଅବସ୍ଥାରେ ସ୍ତର-ଗଣିକା ମଡେଲ୍ ହତାଦର ହେବ, କାରଣ ଭାରୀ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କରେ ସ୍ତରକୋଷଗୁଡ଼ିକର ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ପ୍ରମାଣ ସ୍ପଷ୍ଟ ହେଉନାହିଁ

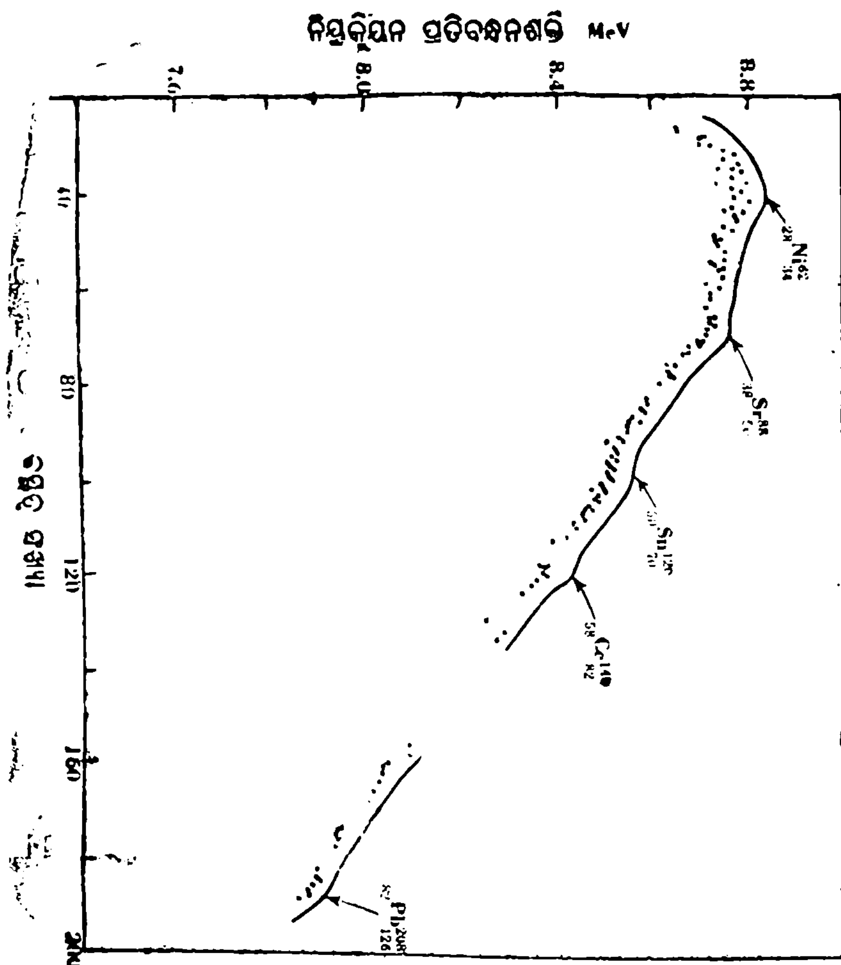


[ଚିତ୍ର ୨୫·୨୭ ଗୋଟିଏ ଅସୀମକୂପରେ ଶକ୍ତି ବର୍ଗ କଣିକ କୂପ (ବାମ)ରେ ଏବଂ ମେୟର-ଜେନସ୍ କଣିକ ଅନୁସାରେ (ଡାହାଣ) ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକର ଅବସ୍ଥାନ ଓ କ୍ରମ । ସ୍ଥିତ ସ୍ତରକୋଷରେ ବନ୍ଦ ହେବାପାଇଁ ଆବଶ୍ୟକ କଣିକାସଂଖ୍ୟା ଡାହାଣରେ ସୂଚିତ ହୋଇଅଛି]

ଓ ଦ୍ରବ-ବିନ୍ଦୁ ମଡ଼େଲର ଚମତ୍କାର ସଫଳତା ସ୍ପଷ୍ଟ କରି ଦେଉଛି ଯେ ନଉକ୍ଲିୟ କେନ୍ଦ୍ରୀୟ ବିଭବ ମଡ଼େଲକୁ ମୂଳ ଭିତ୍ତି କରି ଗଢ଼ି ଉଠିଥିବା ଯେକୌଣସି ମଡ଼େଲ ନିଶ୍ଚୟ ବିଫଳ ହେବ । ତଥାପି, ନଉକ୍ଲିୟର ଗଠନରେ ଆବର୍ତ୍ତିନ ଅଧିକରୁ ଅଧିକ ଜଣାଗଲା ଓ 1948ରେ ଏମ୍. ଜି. ମେୟର ସେ ପ୍ରଶ୍ନଟି ପୁଣି ଥରେ ଉଠାଇଲେ । ପ୍ରକୃତିରେ ମିଳୁଥିବା ନଉକ୍ଲାଇଡ଼ମାନଙ୍କ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଜଣାଥିବା ତଥ୍ୟରୁ ସେ ଦେଖିଲେ ଯେ, 50, 82 ବା 126 ନିଉଟ୍ରନ ବା ପ୍ରୋଟନ ସଂଖ୍ୟା ଥିବା ନଉକ୍ଲିୟସ ଜାତ ସେମାନଙ୍କର ନିକଟତମ ପଡ଼ୋଶୀମାନଙ୍କ ଅପେକ୍ଷା ପ୍ରକୃତିରେ ଅଧିକ ପରିମାଣରେ ମିଳିଥାନ୍ତି; ଆଉ ମଧ୍ୟ $N = 50$ ଓ 82 ପାଇଁ ବିଶେଷଭାବରେ ବହୁ ସଂଖ୍ୟାରେ ଆଇସୋଟୋନ ମିଳିଥାଏ (ଆଇସୋଟୋନ ଅର୍ଥ ସେହି ନଉକ୍ଲାଇଡ଼ଗୁଡ଼ିକର ଏକା ନିଉଟ୍ରନ ସଂଖ୍ୟା N) ଓ $Z = 20$ ଓ 50 ପାଇଁ ବିଶେଷଭାବେ ବହୁ ସଂଖ୍ୟାରେ ଆଇସୋଟୋପ ମିଳିଥାଏ । ଏହି ତଥ୍ୟଗୁଡ଼ିକରୁ ଓ ଅନ୍ୟ କେତେକ ତଥ୍ୟରୁ (ଯାହାକି ଆମେ ଏଠାରେ ଆଲୋଚନା କରୁନାହିଁ) ସେ 2, 8 20 ଓ ଅନ୍ୟ ପରେ ଥିବା ସଂଖ୍ୟାମାନଙ୍କ ସାଙ୍ଗକୁ 50, 82 ଓ 126 ସଂଖ୍ୟାଗୁଡ଼ିକର ମ୍ୟାଜିକ ଗୁଣ ପ୍ରତିଷ୍ଠା କରିଥିଲେ । ମ୍ୟାଜିକସଂଖ୍ୟା ନିଉକ୍ଲାଇଡ଼ମାନଙ୍କର ବିଶେଷଭାବେ ସ୍ଥାୟିତ୍ୱର ପ୍ରମାଣ ବନ୍ଧନ-ଶକ୍ତି-ସ୍ପେକଟ୍ରୋସ୍କୋପି ପରୀକ୍ଷାରୁ ସିଧାସଳଖ ମିଳିଥାଏ । ଏହା ଚିତ୍ର 14·19ରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଛି, ଏଥିରେ ପ୍ରତି ନିଉକ୍ଲିୟନ ପାଇଁ ବନ୍ଧନଶକ୍ତି (ଦେଖ ଚିତ୍ର 14·3) 40ରୁ 240 ମଧ୍ୟରେ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଂଖ୍ୟାପାଇଁ ଦେଖାଇ ଦିଆଯାଇଅଛି । Ni^{68} (28 ପ୍ରୋଟନ), Sr^{86} (50 ନିଉଟ୍ରନ), Sn^{120} (50 ପ୍ରୋଟନ), Ce^{140} (82 ନିଉଟ୍ରନ) ଓ Pb^{208} (82 ପ୍ରୋଟନ, 126 ନିଉଟ୍ରନ)ଠାରେ ସ୍ପଷ୍ଟଭାବରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ହୋଇଅଛି ।

1950 ମସିହାରେ ମେୟର ଓ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ରଭାବରେ ହାକ୍ସଲେ, ଜେନ୍‌ସେନ୍ ଓ ସୁସ ଗୋଟିଏ ସରଳ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର କଣିକା ମଡ଼େଲ ପ୍ରସ୍ତାବ କଲେ; ଏହା ସାହାଯ୍ୟରେ ଅତି ସାଧାସିଧା ଭାବରେ ମ୍ୟାଜିକ ସଂଖ୍ୟାସବୁ ମିଳି ପାରିଲା । ବର୍ଗକୂପ ବିଭବଠାରୁ ସାମାନ୍ୟ ଭିନ୍ନ ଏକ ଭିତରୁ ସେମାନେ ଆଲୋଚନା ଆରମ୍ଭ କରି, ସେମାନେ I·Sକୁ ଅନୁପାତ ଏକ ନିବିଡ଼ ସ୍ପିନ-କକ୍ଷ ଯୋଡ଼ ଅନୁମାନ କଲେ, ଏହା କେନ୍ଦ୍ରୀୟ ବିଭବରୁ ମିଳୁଥିବା ଶୂନ୍ୟକ୍ରମ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକୁ ଭାଙ୍ଗିଦେଲା । ତେଣୁ 1P ଅବସ୍ଥା ଦୁଇଭାଗରେ ବିଭକ୍ତ ହୋଇଗଲା, $1P_{\frac{3}{2}}$ ଓ $1P_{\frac{1}{2}}$ (ପର ଲେଖଟି ଗୋଟିଏ କଣିକାର ମୋଟ କୌଣିକ ସଂବେଗ

ଦେଖୁଅଛୁ); 1*d* ହେବ $1d_{\frac{5}{2}}$ ଓ $1d_{\frac{3}{2}}$; *S* ଅବସ୍ଥା ଅବଶ୍ୟ ଏକ ହୋଇ ରହିବ । ବିଭିନ୍ନ L ପଦ ମଧ୍ୟରେ ତାରତମ୍ୟ ଯେଉଁ ପରିମାଣରେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-କକ୍ଷ ବିଚ୍ଛିନ୍ନ ହେଲେ ହେବ



[ଚିତ୍ର ୨୫'୭ ପ୍ରତି ନିୟୁକ୍ଲିୟନ ପାଇଁ ମିଳୁଥିବା ବନ୍ଧନଶକ୍ତି ଦର୍ଶାଉଥିବା ରେଖାର ବକ୍ରାକାର]

ସେହି କୋଟୀର ତାରତମ୍ୟ ହୁଏ, ବିଭିନ୍ନ ଅବସ୍ଥାର ସମାହାର ବହୁ ପରମାଣୁରେ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇଯିବ । ସେମାନେ ଅବକଳନ କରିଥିବା ଗ୍ରୁପସବୁ ଟେବୁଲ୍ ୨୫.୩ରେ ଦେଖାଇ ହୋଇଅଛି । ଏଥିରେ ବିଭିନ୍ନ ସ୍ତରର ଅବସ୍ଥାନ ଚିତ୍ର ୨୫.୨୭ର ଡାହାଣ ପାଖରେ ଦେଖା ଯାଉଅଛି । ଉଚ୍ଚ L ମୂଲ୍ୟ ପାଇଁ ବିଶେଷଭାବରେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-କକ୍ଷ ଗ୍ରହଣ କରିବାରୁ 50, 82 ଓ 126 ସଂଖ୍ୟାଗୁଡ଼ିକ ସିଧାସଳଖ ଭାବରେ ମ୍ୟାଜିକ୍ ହୋଇ ଯାଉଛନ୍ତି । ଲଘୁ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କରେ L ମୂଲ୍ୟଗୁଡ଼ିକ କମ; ଏଥିରେ 1S ଓ 1P ପ୍ରକୋଷ୍ଠଗୁଡ଼ିକରେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-କକ୍ଷ ବିଶେଷଭାବରେ ଗ୍ରହଣୀୟ ବୋଲି ଅନୁମାନ କରାଯାଇଛି, କେଣୁ ଏଠାରେ ସ୍ତରଗୁଡ଼ିକର କ୍ରମ ଓ ମ୍ୟାଜିକ ସଂଖ୍ୟା ବର୍ଗକୂପରେ ମିଳୁଥିବା ସ୍ତରକ୍ରମ ଓ ମ୍ୟାଜିକ ସଂଖ୍ୟା ହୋଇଥାଏ । 1D ଓ 2S ଅବସ୍ଥାର ନିକଟତମ ଅବସ୍ଥା, ପରବର୍ତ୍ତୀ ପ୍ରକୋଷ୍ଠରେ ଅନୁମାନ

[ଟେବୁଲ ୨୫.୩ ନିଉଟ୍ରନ ଓ ପ୍ରୋଟନ ଅବସ୍ଥାମାନଙ୍କର ପ୍ରକୋଷ୍ଠ ମଡେଲରେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନକକ୍ଷ ଯୋଡ଼ାହେଲେ ମିଳୁଥିବା ସମାହାର]

State designation						
	$1s$	$1p_{\frac{3}{2}}$	$1d_{\frac{5}{2}}$	$1f_{\frac{7}{2}}$	$1g_{\frac{7}{2}}$	$1h_{\frac{9}{2}}$
		$1p_{\frac{1}{2}}$	$1d_{\frac{3}{2}}$	$1f_{\frac{5}{2}}$	$2d_{\frac{5}{2}}$	$2f_{\frac{7}{2}}$
			$2s_{\frac{1}{2}}$	$2p_{\frac{3}{2}}$	$2d_{\frac{3}{2}}$	$2f_{\frac{5}{2}}$
				$2p_{\frac{1}{2}}$	$3s_{\frac{1}{2}}$	$3p_{\frac{1}{2}}$
				$1g_{\frac{9}{2}}$	$1h_{\frac{11}{2}}$	$3p_{\frac{3}{2}}$
						$1i_{\frac{13}{2}}$
Total neutrons or protous	2	8	20	30	82	126

କରାଯାଇଥିବା ଉଭବର ଫଳାଫଳ ଦେଖାଯାଇଥାଏ ଓ ଏଠାରେ ମଧ୍ୟ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-କକ୍ଷ ସାମାନ୍ୟ ପ୍ରଭାବ ଦେଖାଇ ଥାଏ । ହୁଏତ ହୋଇପାରେ ଯେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-କକ୍ଷ ପ୍ରଭାବ $1F_{\frac{7}{2}}$ ଅବସ୍ଥାକୁ ପର ସମାହାରରେ ଏତେ କମାଇ ଦେବ ଯେ, 28 ଗୋଟିଏ ମ୍ୟାଜିକ ସଂଖ୍ୟା ହୋଇଯିବ; ଏହାପର ଘଟିବାର କିଛି ସୂଚନା $_{28}Ni^{62}$ର ଅପେକ୍ଷାକୃତ ସ୍ଥାୟିତ୍ୱରୁ ମିଳୁଅଛି । ପର ପ୍ରକୋଷ୍ଠିରେ 1F ଓ 2P ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ ଅତି ପାଖାପାଖି ହୋଇ ରହିଛି

ଓ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ-କକ୍ଷ ପ୍ରଭାବ $1G_{\frac{9}{2}}$ ଅବସ୍ଥାକୁ ତଳକୁ ଠେଲି ଦେଇଛି, ଫଳରେ ଏହି ପଦଟି 50 ନିଉକ୍ଲିୟନ ଦ୍ୱାରା ବନ୍ଦ ହେଉଥିବା ପ୍ରକୋଷ୍ଠରେ ମିଶୁଅଛି । ଏହି ପ୍ରଣାଳୀରେ 82 ଓ 126 ନିଉକ୍ଲିୟନରେ ବନ୍ଦ ହେଉଥିବା ପ୍ରକୋଷ୍ଠଗୁଡ଼ିକୁ ବୁଝାଇ ଦିଆଯାଇପାରିବ ।

(ଘ) ଏକ-କଣିକା ମଡ଼େଲ :

ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର କଣିକା ମଡ଼େଲ ଓ ପରୀକ୍ଷା ମଧ୍ୟରେ ଆହୁରି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ଭାବରେ ତୁଳନା କରିବାପାଇଁ ଆଉ କେତେକ ଅନୁମାନ କରିବାର ଆବଶ୍ୟକତା ରହିଅଛି । ଅନ୍ୟ ସମସ୍ତ ମଡ଼େଲରେ ଯାହା ସାଧାରଣ କଥା ଓ ପାଉଲି ନିୟମକୁ ସିଧାସଳଖ ମିଳିଥିବା ଅତି ସରଳ ଅନୁମାନ ହେଲା । ଯେ ଗୋଟିଏ ବନ୍ଦ ଥିବା ପ୍ରକୋଷ୍ଠର ନିଉକ୍ଲିୟନମାନଙ୍କର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଓ ଚୁମ୍ବକୀୟ ସଂବେଗର ସମାହାରର ପରିଣାମ ଶୂନ୍ୟ ହେବ । ଲଘୁ ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର, He^4 ଓ O^{16} ପରି ଯେଉଁଠାରେ N = Z ଓ $_{82}Pb^{208}$ ନିଉକ୍ଲିୟସ ପରି ଯେଉଁଠାରେ N ଓ Z ଉଭୟ ମ୍ୟାଜିକ୍ (ଦ୍ୱିମ୍ୟାଜିକ ନିଉକ୍ଲିୟସ), ମୂଳ ଅବସ୍ଥାର କୌଣିକ ସଂବେଗ ଶୂନ୍ୟ; କିନ୍ତୁ ଯେଉଁ ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କରେ N ଯୁଗ୍ମ ଓ Z ଯୁଗ୍ମ, ସେ ସମସ୍ତ ନିଉକ୍ଲିୟସରେ ଏହା ଗୋଟିଏ ସାଧାରଣ ଗୁଣ ହୋଇଥିବାରୁ ଏ ଯୁକ୍ତି ସେତେ ସବଳ ନୁହେ । ଏହାର ପର ଅନୁମାନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଦୃଢ଼ ଚରମ ଅନୁମାନ ସମ୍ଭବ । ତଦନୁଯାୟୀ ଏକ କଣିକା ମଡ଼େଲରେ କେନ୍ଦ୍ର ଭିତର ଓ ବାହାରର ସମସ୍ତ ଏକ ଜାତୀୟ କଣିକା ଯୋଡ଼ି ଯୋଡ଼ି ହୋଇ ଯୋଡ଼ା ହୋଇ ସେମାନଙ୍କର କୌଣିକ ସଂବେଗ ଶୂନ୍ୟ କରନ୍ତି । ସେତେବେଳେ ସେ ଗୋଟିଏ ଯୁଗ୍ମ-ଯୁଗ୍ମ ନିଉକ୍ଲିୟସର କୌଣିକ ସଂବେଗ ଓ ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ଶୂନ୍ୟ ହେବ । ଏହାହିଁ ପରୀକ୍ଷାରେ ଦେଖାଯାଏ—ଆଉ ମଧ୍ୟ ଯୁଗ୍ମ-ଅଯୁଗ୍ମ (Z ଯୁଗ୍ମ, N ଅଯୁଗ୍ମ) ବା ଅଯୁଗ୍ମ-ଯୁଗ୍ମ ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର ସର୍ବଦା ଅଯୁଗ୍ମ ନିଉକ୍ଲିୟନର ହେବାପରି ହେବ । ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ କୌଣିକ ସଂବେଗ ବୁଝାଇବାପାଇଁ ଏକ କଣିକା ମଡ଼େଲ ଚମତ୍କାରଭାବେ ଭାବେ ସଫଳ ହେଲା । ଏହି ମଡ଼େଲ ଅନୁସାରେ 1P ପ୍ରକୋଷ୍ଠରେ (He^4 to O^{16}) A = 5, 7, 9, 11, 13 ଓ 15 ପାଇଁ ସମ୍ଭାବ୍ୟ ମୋଟ କୌଣିକ ସଂବେଗ ହେଲା $\frac{3}{2}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{2}$—ଏହାହିଁ ଠିକ୍ ପରୀକ୍ଷାରେ ମିଳିଥାଏ । ଠିକ୍ O^{16} ପରେ $S_{\frac{1}{2}}$ ବା $D_{\frac{5}{2}}$ କେଉଁ "କକ୍ଷ"ଟି ଆଗେ ପୂର୍ଣ୍ଣ ହେବ, ସେବିଷୟରେ ସାମାନ୍ୟ ଅନିଶ୍ଚିତତା ରହିଅଛି,

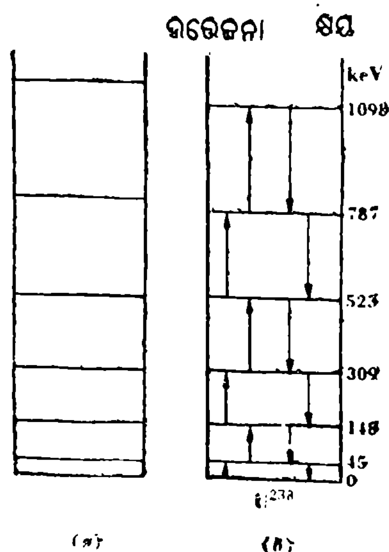
O^{17} ଓ F^{19} ପାଇଁ ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ I ମୂଲ୍ୟ ହେଲା $\frac{5}{2}$ ଓ $\frac{1}{2}$ । ଅନ୍ୟପକ୍ଷରେ Ne^{21} ଓ Na^{23} ପାଇଁ $I = \frac{3}{2}$, ଏହା ବୁଝାଇବା ସାମାନ୍ୟ କଷ୍ଟ । ଅବଶିଷ୍ଟ ପ୍ରକୋଷ୍ଠଗୁଡ଼ିକ ଅସ୍ଥିରତାରେ $_{19}K^{39}$ (ଅଯୁଗ୍ମ (ପ୍ରୋଟନ) ବା $_{16}S^{35}$ (ଅଯୁଗ୍ମ ନିଉଟ୍ରନ) ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ପୂର୍ଣ୍ଣ ହୋଇଯିବ । ଏହାର ପର ପ୍ରକୋଷ୍ଠରେ ପରୀକ୍ଷା ଲବ୍ଧ ଓ ହିସାବରୁ ମିଳିବା ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସବୁ ପ୍ରଧାନତଃ ମିଳିଯାଏ; କିନ୍ତୁ ଅଳ୍ପ କେତେକ ଅସୁବିଧାଜନକ ବ୍ୟତିକ୍ରମ ଘଟିଥାଏ ।

ଏକକ-କଣିକା ମଡେଲ ଅଯୁଗ୍ମ Z, ଯୁଗ୍ମ N ଓ ଯୁଗ୍ମ Z, ଅଯୁଗ୍ମ N ନଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ବୁଝାଇବାରେ ମଧ୍ୟ କେତେକ କ୍ଷେତ୍ରମାନଙ୍କରେ ସଫଳ ହୋଇଅଛି । 1937 ମସିହାରୁ ସ୍ମିତ ପ୍ରସ୍ତାବ କରିଥିଲେ ଯେ, ଗୋଟିଏ ପରମାଣୁରେ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ଅଘୂର୍ଣ୍ଣସବୁ ଯେପରି ବୁଝାଯାଏ, ନଉକ୍ଲିୟସରେ ଚୁମ୍ବକୀୟ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣସବୁ ସେହିପରି ଗୋଟିଏ ନଉକ୍ଲିୟନର ନିଜସ୍ୱ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣର ଅବଦାନ ସହିତ କକ୍ଷୀୟ ଗତିର ଅଘୂର୍ଣ୍ଣର ଅବଦାନକୁ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ କ୍ଷେତ୍ରରେ ମିଶାଇବା ପରି ମିଶାଇ ବୁଝାଯାଇ ପାରେ । ତେଣୁ ମୋଟ କୌଣିକ ସଂବେଗ I, ନଉକ୍ଲିୟନର ନିଜସ୍ୱ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ S ଓ କକ୍ଷୀୟ କୌଣିକ ସଂବେଗ I ର ଭେକ୍ଟର ଯୋଗଫଳ । ଏହିପରି ଉତ୍ପନ୍ନ ହେଉଥିବା ଚୁମ୍ବକୀୟ ସଂବେଗ ଅଯୁଗ୍ମ ନଉକ୍ଲିୟନର I ର ମୂଲ୍ୟ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ ଏବଂ ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ଅଘୂର୍ଣ୍ଣ ସହିତ ମିଳିଯିବା ପରି ଏହି ମୂଲ୍ୟ ବଛାଯାଏ । ଯଦିଓ ହିସାବରୁ ଓ ପରୀକ୍ଷାରୁ ମିଳୁଥିବା ଅଘୂର୍ଣ୍ଣର ସଂଖ୍ୟାମୂଲ୍ୟ ଭଲ ଭାବରେ ମିଳେନାହିଁ, L ମୂଲ୍ୟର ଦ୍ୱିବିଧମାନ ନିରୂପଣ କରିବାପାଇଁ ଏହା ସାଧାରଣତଃ ଯଥେଷ୍ଟ ହୋଇଥାଏ ଏବଂ ଅଧିକାଂଶ କ୍ଷେତ୍ରରେ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ ମଡେଲରୁ ହିସାବଦ୍ୱାରା ମିଳୁଥିବା ମୂଲ୍ୟ ସହିତ ଏହି L ମୂଲ୍ୟ ମିଳିଯାଏ ।

25·18 ସମାବେଶ ମଡେଲ :

କେତେକ ପରୀକ୍ଷା ପାଇଁ ନଉକ୍ଲିୟସ ଦ୍ରବ-ବିନ୍ଦୁ ପରି କାମ କରେ ଓ ଅନ୍ୟ କେତେକ ପାଇଁ ସ୍ପଷ୍ଟ ପ୍ରକୋଷ୍ଠ ସବୁ ଥାଇ ଖୋଳ ମଣ୍ଡଳ ପରି କାମ କରେ । ଏହି ଉଭୟ ଆଚରଣ କମ୍ ଜଟିଳତା ସୃଷ୍ଟି କରେନାହିଁ । ସମାବେଶ ମଡେଲରେ ଅନୁମାନ କରାଯାଇଛି ଯେ, ନଉକ୍ଲିୟସର 'ଅନ୍ତଃସ୍ଥଳ' ବନ୍ଦ ଥିବା ପ୍ରକୋଷ୍ଠଗୁଡ଼ିକର କଣିକାମାନଙ୍କୁ ନେଇ

ଗଠିତ ଓ ଏହା ସମ୍ପୂର୍ଣ୍ଣ ଲକ୍ଷ ସ୍ଥିର ନହୋଇ ବାହ୍ୟ ନିଉକ୍ଲିୟନମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଆନ୍ଦୋଳିତ ହୁଏ । ବନ୍ଦ ଥିବା ପ୍ରକୋଷ୍ଠ ବିଶିଷ୍ଟ ନିଉକ୍ଲିୟସଗୁଡ଼ିକର ଯୌଗିକ ସଂବେଗ ନଥାଏ ଓ ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାରେ ଆକାର ଗୋଲକ ଥିବ ବୋଲି ଅନୁମାନ କରାଯାଇଥାଏ । ମାତ୍ର, ଉପ ବନ୍ଦ ପ୍ରକୋଷ୍ଠଗୁଡ଼ିକର ବାହାରେ ଅନେକ ନିଉକ୍ଲିୟନ ରହିଥାନ୍ତି, ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ଅପେକ୍ଷାକୃତ ଜଟିଳ ହୋଇଥାଏ ଓ ଏପରି ଉତ୍ପନ୍ନ ଅନ୍ତଃସ୍ଥଳ ମୂଳ ଅବସ୍ଥାକୁ ମଧ୍ୟ ପ୍ରଭାବିତ କରିପାରେ । ତେଣୁ ଏତେବେଳେ 'ବାହ୍ୟ' ନିଉକ୍ଲିୟନମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଓ ସେମାନଙ୍କ ସହିତ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟାରେ ଆନ୍ଦୋଳିତ ଅନ୍ତଃସ୍ଥଳ ଦ୍ୱାରା ସ୍ଥାୟୀଭାବରେ ନିଉକ୍ଲିୟସଟି ବିକୃତ ହୋଇଥାଏ । ଏପରି ବିକୃତତା ଫଳରେ ନିଉକ୍ଲିୟସ ବିଶେଷ ଚକ୍ରଣରୁ ଆଘୂର୍ଣ୍ଣ ଲାଭ କରିପାରେ, ଏହିପରି ଘଟଣା ଦୁର୍ଲଭ-ମୃତ୍ତିକା ଅଞ୍ଚଳରେ ବିଶେଷ ଭାବରେ ଦେଖାଯାଏ । ନିଉକ୍ଲିୟସ-ବସ୍ତୁ ସହଜରେ ବିକୃତ ହୁଏ ବୋଲି ଯଥେଷ୍ଟ ପ୍ରମାଣ ଅଛି; ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ ପରମାଣୁର ଗୁର୍ଣ୍ଣମେଘ ଅପେକ୍ଷା ଅତି ସହଜରେ ବିକୃତ ହୁଏ ।



[ଚିତ୍ର ୨୫.୨୮ (*a*) ଗୋଟିଏ ବିକୃତ ଯୁଗ୍ମ A, ଯୁଗ୍ମ Z ନିଉକ୍ଲିୟସରେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ସ୍ଥିତି ବ୍ୟାଣ୍ଡପାଇଁ ତାତ୍ତ୍ୱିକ ସ୍ତରସମୂହ
(*b*) କୁଲମ୍ବ ଉତ୍ତେଜନା ଦ୍ୱାରା ଉତ୍ପନ୍ନ U^{238}ର ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ସ୍ତରସମୂହ]

ନିଉକ୍ଲିୟସର ଭୂମିସ୍ଥ ଯେଉଁ ପାରମାଣିକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଉପରେ ଧାର୍ଯ୍ୟ କରୁଥିବା ବଳମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରଧାନ ଓ ଏହା ଗୋଲକୀୟ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟୀ । ଅନ୍ୟପକ୍ଷରେ, ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କପାଇଁ ନିକଟତମ ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ହେବ ନିକଟତମ ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କ ସହିତ ।

ଆଣବିକ ସ୍ପେକ୍ଟ୍ରମରେ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ, କମ୍ପନ ଓ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନୀୟ ଉତ୍ତେଜନା ପ୍ରଭୃତି ମିଳିଥାଏ । ବହୁତ ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କରେ ଅନୁରୂପ ଘୂର୍ଣ୍ଣନ, କମ୍ପନ ଓ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଉତ୍ତେଜନା ପ୍ରଭୃତି ମିଳିଥାଏ । ନିଉକ୍ଲିୟସର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଗତି ଗୋଟିଏ ଅନମନୀୟ ବସ୍ତୁର ଗତି ପରି ନୁହେଁ, ଗୋଟିଏ ଗତିଶୀଳ ଦ୍ରବତରଙ୍ଗ ନିଉକ୍ଲିୟସ ସ୍ୱରୂପରେ ଘୂରିବା ପରି । A ନିଉକ୍ଲିୟସଙ୍କୁ ବାନ୍ଧି ରଖିଥିବା ବହୁତ ଉପାଦାନର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ । ଏଥିରୁ ମିଳୁଥିବା ଶକ୍ତିସ୍ତରର ପ୍ରକାର ଗୋଟିଏ ଅଣୁର ଘୂର୍ଣ୍ଣନ ଅବସ୍ଥାଗୁଡ଼ିକ (ଚିତ୍ର ୨୫'୨୮) ଭଳି । ବହୁତ ଆକାର ଯେ କେବଳ ଘୂରେ ତା ନୁହେଁ, ସାମ୍ୟାବସ୍ଥାର ଆକାର ଉପରେ ଏହାର କମ୍ପନ ମଧ୍ୟ ହୁଏ । ସମସ୍ତ ନିଉକ୍ଲିୟସ ସମାବେଶର ଗଠନମୂଳକ ସହିତ ଗୋଟିଏ କଣିକାର ଗତିର ପାରସ୍ପରିକ କ୍ରିୟା ସୁବିଧାଜନକ ସମନ୍ୱୟ କରାଗଲେ ଦ୍ରବ-ବିନ୍ଦୁ ମଡେଲ ଓ ସ୍ୱତନ୍ତ୍ର କଣିକା ମଡେଲର ପ୍ରଧାନ ପ୍ରଧାନ ଗୁଣଗୁଡ଼ିକ ଏକାଠି କରି ନିଉକ୍ଲିୟସର ଘଟଣାଗୁଡ଼ିକ ବୁଝାଇବା ସମ୍ଭବ । ଏହି ମଡେଲ ସାହାଯ୍ୟରେ ମଧ୍ୟମ ଓ ଗୁରୁ ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କରେ ମଧ୍ୟମ ଶକ୍ତି ପରିସରରେ ନିଉଟ୍ରନ-ବିକ୍ଷୁରଣ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦରେ ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ କେତେକ ଅସ୍ୱାଭାବିକତା ଚମତ୍କାର ସଫଳତା ସହିତ ବୁଝାଇ ଦିଆଯାଇପାରିଛି ।

ନିଉକ୍ଲିୟସର ବିଖଣ୍ଡନ ଓ ନିଉକ୍ଲିୟସର ଶକ୍ତି

25'19 ବିଖଣ୍ଡନର ଆବିଷ୍କାର :

(କ) ୟୁରାନିୟମ ପର ମୌଳିକ ବସ୍ତୁଗୁଡ଼ିକ: 1934 ମସିହାରେ ନିଉଟ୍ରନ ଦ୍ୱାରା ସୃଷ୍ଟି ହେଉଥିବା ତେଜସ୍କ୍ରିୟତା ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଅନୁସନ୍ଧାନ କଲାବେଳେ ଫର୍ମି ଓ ତାଙ୍କର ସହକର୍ମୀଗଣ ବର୍ଣ୍ଣନ ଆବିଷ୍କାରର ପରୀକ୍ଷା ଶେଷ କରିଥିଲେ । ବସ୍ତୁ ପ୍ରାକୃତିକ

ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥରୁ ନିଉଟ୍ରନ β—ଅସ୍ଥାୟୀ ଆଇସୋଟୋପସବୁ ଉତ୍ପନ୍ନ କରୁଥିବାରୁ ୟୁରାନିୟମରେ ନିଉଟ୍ରନ ଦ୍ୱାରା ସଞ୍ଚାରିତ ତେଜସ୍କ୍ରିୟତା ସୃଷ୍ଟି କରି ପିରିଅଡ଼ିକ ଟେବୁଲକୁ ଉପରର ପାରମାଣିକ ସଂଖ୍ୟାଅଡ଼କୁ ପ୍ରସାର କରିଦେବ ବୋଲି ଫର୍ମି ମନେ କଲେ। ୟୁରାନିୟମ ଶାମିକକୁ ନିଉଟ୍ରନ ଦ୍ୱାରା ଆଘାତ କରି ତେଜସ୍କ୍ରିୟ କରିଦେବ ବୋଲି ଅତି ଶୀଘ୍ର ପ୍ରେମରେ ଦେଖାଇ ଦିଆଗଲା, ଅଭି ଅଧିକ କଥା ହେଲା ଯେ କେତେକ ନୂଆ ଜିନିଷ ଏହାଦ୍ୱାରା ଉତ୍ପନ୍ନ ହେଲା ବୋଲି ଜଣାଗଲା। ରସାୟନିକ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ଏଗୁଡ଼ିକୁ ଚିହ୍ନଟ କରିବାର ଚେଷ୍ଟା କରିବାକୁ ବ୍ୟସ୍ତ କଳାପରି କେତେକ ଗୁଣ ପ୍ରମାଣ ପାଇଲା, ବହୁ କଷ୍ଟରେ ଜଣାଥିବା ନିଉକ୍ଲିୟର ପ୍ରକ୍ରିୟାମାନଙ୍କ ସାହାଯ୍ୟରେ ଏଗୁଡ଼ିକ ବୁଝାଯାଇ ପାରିଲା। ତେଣୁ 1937 ମସିହାରେ ହାନ, ମିଟ୍‌ନର ଓ ଷ୍ଟ୍ରାସ୍‌ମାନ୍ ସିଦ୍ଧାନ୍ତ କଲେ ଯେ ଅନ୍ତତଃ ତିନିଗୋଟି ଭିନ୍ନ ରୂପାନ୍ତରଣ ଶ୍ରେଣୀ ଅନୁମାନ କରିବାକୁ ହେବ। ଏସବୁରେ ୟୁରାନିୟମର ବହୁଳ ଭାବରେ ମିଳୁଥିବା ଆଇସୋଟୋପ $_{92}U^{238}$ରେ ନିଉଟ୍ରନ ବନ୍ଦୀ ହୋଇ ମିଳୁଥିବା ଅବସ୍ଥାରୁ ଆରମ୍ଭ କରିବାକୁ ହେବ, 93, 94 ଓ ବୋଧହୁଏ 95 ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥର ଅନେକଗୁଡ଼ିଏ ବହୁ ସମୟ ସ୍ଥାୟୀ ଉତ୍ତେଜିତ ଅବସ୍ଥା ସଂପୃକ୍ତ କରିବାକୁ ହେବ । 1938 ମସିହାରେ ଆଇରେନ କୋଲିଏର୍ କ୍ୟୁରି ଓ ସାଭିଚ୍‌ଙ୍କ ଆବିଷ୍କାର ଏହାକୁ ଆହୁରି ଜଟିଳ କରିଦେଲା। ସେମାନେ ଲାନ୍ଥାନମ୍ (Z = 57) ସହିତ କେତେକ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ବସ୍ତୁ ଅଧଃକ୍ଷେପ ହେବାର ଦେଖିଲେ ଓ ଏହି ବସ୍ତୁଗୁଡ଼ିକୁ ରସାୟନିକ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ଲାନ୍ଥାନମ୍‌ଠାରୁ ପୃଥକ୍ କରିବା "ପ୍ରାୟ ଅସମ୍ଭବ" ହୋଇଥିଲା। ବେରିୟମ୍ ସହିତ କେତେକ ତେଜସ୍କ୍ରିୟବସ୍ତୁ ଅଧଃକ୍ଷେପ ହେବାର ହାନ ଓ ଷ୍ଟ୍ରାସ୍‌ମାନ ଦେଖିପାରିଲେ ଓ ଏଥିରୁ ଉତ୍ପନ୍ନବସ୍ତୁ ଲାନ୍ଥାନମ୍ ପରି ଗୁଣ ଦେଖାଇଲା। ରେଡ଼ିୟମ ଓ ବେରିୟମର ରସାୟନିକ ଗୁଣ ସବୁ ପ୍ରାୟ ଏକା ହୋଇଥିବାରୁ ଏବଂ ବହୁ କଷ୍ଟରେ ଏ ଦୁହିଁଙ୍କୁ ପୃଥକ କରିବା ସମ୍ଭବ ହେଉଥିବାରୁ ରେଡ଼ିୟମର ଆଇସୋଟୋପ (Z = 88) ଏଥିରେ ଥିବ ବୋଲି ସିଦ୍ଧାନ୍ତ କରାଗଲା। ଏହା ୟୁରାନିୟମ୍‌ରୁ $(n, 2\alpha)$ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ଉତ୍ପନ୍ନ ହୋଇଥିବ ବୋଲି ଅନୁମାନ କରାଗଲା। ଏପରି ଏକ ଗୁରୁ ନିଉକ୍ଲାଇଡ଼ରେ କିପରି ଏକ $(n, 2\alpha)$ ପ୍ରଣାଳୀ ଘଟିବ, ତାହା ବୁଝିବା କଷ୍ଟକର ଥିଲା; ବିଶେଷ କରି U^{238} ପରି ଅପେକ୍ଷାକୃତ ଏଡ଼େ ସ୍ଥାୟୀ ନିଉକ୍ଲିୟସ ପାଇଁ ଏହା ବୁଝିବା କଷ୍ଟକର ହୋଇଥିଲା। ଏହି ତଥ୍ୟକୁ ନିର୍ଭୁଲଭାବେ ପ୍ରତିଷ୍ଠା କରିବା ପାଇଁ ହାନ ଓ ଷ୍ଟ୍ରାସମାନ ThX ଓ msThକୁ (ରେଡ଼ିୟମର ଆଇସୋଟୋପ) ବାହକଭାବେ ବ୍ୟବହାର

ପର ରେଡ଼ିୟମ୍‌ର ଉକ୍ତ ସନ୍ଦେହରେ ଯାଉଥିବା ଆଇସୋଟୋପକୁ ବେରିୟମରୁ ପୃଥକ୍ କରିବାକୁ ଚେଷ୍ଟା କଲେ । ସେମାନେ ଆଶ୍ଚର୍ଯ୍ୟ ହୋଇ ଦେଖିଲେ ଯେ ଏ ବସ୍ତୁ ରେଡ଼ିୟମ୍ ବାହକମାନଙ୍କ ସହିତ ନଯାଇ ବେରିୟମ ସଙ୍ଗେ ରହିଲା ଓ ସେହି କାରଣରୁ ବେରିୟମ୍ ଅଟେ ବୋଲି ନିଶ୍ଚିତ୍ତ ଜଣାଗଲା । ବେରିୟମ ଓ ଲାନ୍ଥାନମ୍‌ର ଆଇସୋଟୋପ୍ ହେବା ଭଳି ଅନ୍ୟାନ୍ୟ ସନ୍ନିଯୁକ୍ତା ସେମାନେ ଅତି ଶୀଘ୍ର ଦେଖିପାରିଲେ । ଏଥିରୁ ସେମାନେ ସ୍ପଷ୍ଟ ଦେଲେ ଯେ ୟୁରାନିୟମ ପର ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ ବୋଲି ମନେ କରାଯାଉଥିବା ଅନେକ ବସ୍ତୁ ପ୍ରକୃତରେ ୟୁରାନିୟମଠାରୁ ବହୁ ପରିମାଣରେ ହାଲୁକା ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ-ମାନଙ୍କର ଆଇସୋଟୋପ ହୋଇପାରନ୍ତି; ଏମାନେ ବୋଧହୁଏ ୟୁରାନିୟମ ନିଉକ୍ଲିୟସର "ବିସ୍ଫୋରଣ" ଫଳରେ ଉତ୍ପନ୍ନ ହେଉଛନ୍ତି ।

(ଖ) ବିଖଣ୍ଡନର ବାସ୍ତବ ପ୍ରଦର୍ଶନ:

ହାନ୍ ଓ ଷ୍ଟ୍ରାସମାନ ରସାୟନିକ ପ୍ରମାଣ ସାହାଯ୍ୟରେ ୟୁରାନିୟମ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଦୁଇ ଅଧାରେ ବିଭକ୍ତ ହୋଇ ଯାଉଥିବା କଥା ପ୍ରକାଶ କରିବାର ମାତ୍ର କେତେମାସ ମଧ୍ୟରେ ମିଟ୍ନର ଓ ଫ୍ରିସ ତାର ସର୍ଜିବା ପ୍ରଣାଳୀର ଭୌତିକ ତତ୍ତ୍ୱର ସୂଚନା ଦେଇଥିଲେ । ଦ୍ରବ-ବିନ୍ଦୁ ମଡ଼େଲକୁ ଭିତ୍ତି କରି ସେମାନେ ଦର୍ଶାଇଲେ ଯେ, ଯେତେବେଳେ ବୃର୍ଜ ବହୁ ପରିମାଣରେ ଅଧିକ ହୋଇଯାଉଅଛି, ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତିମାନଙ୍କଦ୍ୱାରା ନିଉକ୍ଲିୟର ଉପରିସ୍ଥିତ କଣିକାମାନଙ୍କ ଉପରେ ପଡ଼ୁଥିବା ଟାଣ (ପୃଷ୍ଠ ଟାଣ) ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ ବିକର୍ଷଣ ଦ୍ୱାରା ପରାହତ ହୋଇ ଯାଉଛି । ଭର ଓ ଦାଲ୍‌ବାରଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ବର୍ଣ୍ଣିତ ପୁଙ୍ଖାନୁପୁଙ୍ଖ ମଡ଼େଲ ସାହାଯ୍ୟରେ ସେମାନେ ହିସାବ କରି ସ୍ଥିର କଲେ ଯେ, Z≈100 ହେଲେ ଗୋଟିଏ ନିଉଟ୍ରନ ବାହି ଆଣିଥିବା ସାମାନ୍ୟ ଶକ୍ତି ଯୋଗ ହେଲେ ପୃଷ୍ଠଟାଣ ପରାହତ ହେବ ଓ ନିଉକ୍ଲିୟସଟି ଦୁଇଟି ପ୍ରାୟ ସମାନ ଅଂଶରେ ବିଭକ୍ତ ହୋଇଯିବ । ଏହି ପ୍ରଣାଳୀରେ 100ରୁ 200 MeV ଶକ୍ତି ନିଷ୍କାସିତ ହେବ ବୋଲି ଶକ୍ତି ପରିବର୍ତ୍ତନର ହିସାବରୁ ଜଣାଗଲା । ଏହି ଶକ୍ତି ପରିମାଣ U ଓ ପାରମାଣିକ ଟେବୁଲର ମଧ୍ୟସ୍ଥଳର ନିକଟସ୍ଥ ଦୁଇଟି ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥର ମୋଟ ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତିର ତାରତମ୍ୟ । ଏହି ଉପାୟରେ ଉତ୍ପନ୍ନ ହୋଇଥିବା ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥ ବଡ଼ ଅସ୍ଥାୟୀ କାରଣ, ଏଥିରେ ବହୁ ଅଧିକ ପରିମାଣରେ ନିଉଟ୍ରନ ରହିଅଛି ଓ ଗୋଟିଏ ସ୍ଥାୟୀ ବସ୍ତୁରେ ପହଞ୍ଚିବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ବହୁତ ସ୍ତରରେ କ୍ଷୟ ଘଟିବ ।

ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ କୋପେନ୍‌ହାଗେନରେ ଫ୍ରିସ୍ ଏବଂ ଅନୁମାନର ସତ୍ୟତା ପ୍ରତିଷ୍ଠା କରିଥିଲେ । ଗୋଟିଏ ଆୟନୀକରଣ ପ୍ରକୋଷ୍ଠର ଭିତରେ ୟୁରାନିୟମ ରଖି ତାକୁ ନିଉଟ୍ରନରେ ଆଘାତ କରିବା ଦ୍ୱାରା ଉତ୍ପନ୍ନ ଆୟନକାରୀ ଖଣ୍ଡସବୁ 70M.V ଶକ୍ତିରୁ ଅଧିକ ଶକ୍ତି ଯେ ଲାଭ କରି ଥାଆନ୍ତି ବୋଲି ସେ ଦେଖାଇଲେ । ପାରିସ୍‌ରେ ଜୋଲିଅଟ୍ କ୍ୟୁରି ମଧ୍ୟ ସେହି ସମୟରେ ଦେଖାଇଲେ ଯେ, ସକ୍ରିୟ ବସ୍ତୁସବୁ ବାୟୁରେ ପ୍ରାୟ 3 ସେ. ମି. ଗତି କରିପାରିବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଶକ୍ତି ଲାଭ କରୁଛନ୍ତି; ଏହି ଶକ୍ତି 250MeV କେଟିର ହେବ ବୋଲି ସେ ପ୍ରସ୍ତାବ କଲେ । ମିଟ୍‌ନର ଓ ଫ୍ରିସ୍କଙ୍କର ଫଳାଫଳ ଉପରେ 1939 ମସିହାରେ ଗୋଟିଏ ପତ୍ରରେ ପ୍ରଚାର କରିବା ଫଳରେ ଏ ଦେଶର ପରୀକ୍ଷାଗାରମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ଚଞ୍ଚଳ ପଡ଼ିଗଲା । ମାତ୍ର କେତେକ ଦିନ ମଧ୍ୟରେ ଅନେକ ଲାବୋରେଟୋରୀରେ ଖୁବ୍ ଆୟନକାରୀ କଣିକାମାନଙ୍କର ଉପସ୍ଥିତି ଓ ସେମାନଙ୍କ ଅତ୍ୟଧିକ ଗତିଜଶକ୍ତି ଥିବା କଥା ସ୍ପଷ୍ଟ ହୋଇଗଲା; କେତେକମାସ ମଧ୍ୟରେ ବହୁ ନୂତନ ଓ ମୂଲ୍ୟବାନ୍ ଆବିଷ୍କାର ସବୁ ମଧ୍ୟ ହୋଇଥିଲା । 1939 ମସିହା ମଧ୍ୟଭାଗବେଳକୁ ନିମ୍ନୋକ୍ତ ବିଷୟଗୁଡ଼ିକ ପ୍ରତିପାଦିତ ହୋଇ ସାରିଥିଲା :

୧ । ବେଗଗାମୀ ନିଉଟ୍ରନମାନଙ୍କର ଆଘାତରେ ୟୁରାନିୟମ ଓ ଥୋରିୟମ୍‌ରେ ବିଖଣ୍ଡନ ସମ୍ଭବ ହୋଇଥାଏ; ୟୁରାନିୟମରେ ତାପୀୟ ନିଉଟ୍ରନ ମଧ୍ୟ ଫଳ ଦେଇଥାଏ, ଏଥିରେ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ $1/v$ ନିୟମ ଅନୁସରଣ କରିଥାଏ ।

୨ । U^{239}ର ଅର୍ଦ୍ଧଜୀବନ 23ମିନିଟ୍ ଓ ଏହା ୟୁରାନିୟମକୁ ମନ୍ଥର ନିଉଟ୍ରନ ଦ୍ୱାରା ଆଘାତ କଲେ ମିଳିଥାଏ, ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ 10ରୁ 25eV ପରିସର ମଧ୍ୟରେ ଗୋଟିଏ ବା ତତୋଧିକ ପ୍ରବଳ ଅନୁନାଦ ଦେଖାଇବ ।

୩ । ୟୁରାନିୟମ୍ ବିଖଣ୍ଡନରୁ ମିଳୁଥିବା ଖଣ୍ଡସବୁ 60 ଓ 100 MeV ଶକ୍ତି ପାଖାପାଖି ଦୁଇଟି ଦଳରେ ଦେଖାଯାନ୍ତି । ଏଥିରୁ ଗୋଟିଏ ଦଳର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଂଖ୍ୟା ପ୍ରାୟ 140 ଓ ଅନ୍ୟଟିର ପ୍ରାୟ 95 ହୋଇଥାଏ; 115ରୁ 120 ବସ୍ତୁତ୍ୱସଂଖ୍ୟା ବିଶିଷ୍ଟ ସାମଞ୍ଜସ୍ୟ ବିଘଟନ ଖୁବ୍ ବିରଳ ହୋଇଥାଏ ।

୪ । ପ୍ରାୟ 1% ବିଖଣ୍ଡନ ଘଟଣାରେ ବିଳମ୍ବରେ ନିଉଟ୍ରନ ବିକିରଣ ହୋଇଥାଏ । ବୋଧହୁଏ ଗୋଟିଏ ଖଣ୍ଡର ବିନାଶରୁ ଏହି ନିଉଟ୍ରନ ଉତ୍ପନ୍ନ ହୋଇଥାଏ ।

* । ବିଖଣ୍ଡନ ହେବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଅଳ୍ପ କେତୋଟି ନ୍ୟୁଟ୍ରନ (ଏକରୁ ତିନି ମଧ୍ୟରେ) ବହିର୍ଗତ ହୋଇଥାଏ ।

25·20 ବିଖଣ୍ଡନର ତତ୍ତ୍ୱ :

(କ) ବିଖଣ୍ଡନର କ୍ରିୟାବିଧି: ବୋର୍ ଓ ହ୍ୱିଲରଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ବିଖଣ୍ଡନ ପ୍ରଣାଳୀର ତତ୍ତ୍ୱ ପୂର୍ଣ୍ଣାନୁପୂର୍ଣ୍ଣ ଭାବରେ ପ୍ରସ୍ତାବ କରାଯାଇଅଛି । ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟର ପ୍ରକ୍ରିୟା-ମାନଙ୍କର ସାଧାରଣ ପ୍ରସ୍ତାବ ପ୍ରଣାଳୀ ଅନୁସାରେ (ଦେଖ ଅନୁ; ୨୫·୧୪) ଏ ପ୍ରକ୍ରିୟାଟି ଦୁଇଟି ସ୍ତର ପ୍ରକାରରେ ଘଟୁଥିବାର ସେମାନେ ଅନୁମାନ କଲେ; ଗୋଟିଏ ନ୍ୟୁଟ୍ରନକୁ ବନ୍ଦୀ କରିବା ଦ୍ୱାରା ଗୋଟିଏ ଉତ୍ତେଜିତ ଯୌଗିକ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ଗଠନ ହେବା ଓ ଭିନ୍ନ ସମ୍ଭାବ୍ୟ ପ୍ରଣାଳୀରୁ ଗୋଟିଏ ପ୍ରଣାଳୀରେ ଏହାର ବିନାଶ । ଯୌଗିକ ନିଉକ୍ଲିୟସଟିରେ ଥିବା ଥିବା ଶକ୍ତି କଣିକାମାନଙ୍କର ବିଭିନ୍ନପ୍ରକାର ଗତି ମଧ୍ୟରେ ବାଣ୍ଟି ହୋଇଯାଏ, ବେଳେବେଳେ ଗୋଟିଏ କଣିକାରେ ଜମିଯାଏ ଓ ବେଳେବେଳେ ବହୁ କଣିକାକୁ ନାନା ଜଟିଳ ଭାବରେ ଉତ୍ତେଜିତ କରେ । ଏପ୍ରକ୍ରିୟାର ଶେଷ ଫଳାଫଳ ବିଭିନ୍ନପ୍ରକାର ଗତି ମଧ୍ୟରେ ପ୍ରତିଯୋଗିତା ଦ୍ୱାରା ସ୍ଥିର ହୋଇଥାଏ । ଏହାଦ୍ୱାରା ବିଘଟନ ହାର ଓ ଏହି ବିଘଟନ ପ୍ରଣାଳୀ ଯୌଗିକ ନିଉକ୍ଲିୟସର ଗଠନ ପ୍ରଣାଳୀ ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେନାହିଁ । ଗୁରୁ ନିଉକ ସୂତ୍ରମାନଙ୍କରେ ହୁଏତ, ଏହି ସାଧାରଣ ଗତିମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଘଟୁଥିବା ବିଘଟନ ଏକ କଣିକା ବିକିରଣ ପ୍ରଣାଳୀ ସହିତ ଉତ୍ତମରୂପେ ପ୍ରତିଯୋଗିତା କରିପାରେ ।

ବହୁ କଣିକା ବିଶିଷ୍ଟ ଏକ ମଣ୍ଡଳର ଜଟିଳ ଗତିମାନଙ୍କ କଥା ବର୍ଣ୍ଣନା କରିବାରେ ସମସ୍ତ ମଣ୍ଡଳର ଆକାରରେ ପରିବର୍ତ୍ତନ ବିଷୟ ଆଲୋଚନା କରିବା ଆବଶ୍ୟକ, କଣିକା-ମାନଙ୍କର ଗତି ଗୋଟି ଗୋଟି କରି ବିସ୍ତର କରି ଲୋଡାନାହିଁ । ଯେତେବେଳେ କଣିକା ଗୁଡ଼ିକ ଏପରି ଖୁନ୍ଦାଖୁନ୍ଦି ହୋଇ ଅଛନ୍ତି ଯେ ମଣ୍ଡଳଟି ପ୍ରଧାନତଃ ଅନମନୀୟ, ସେତେବେଳେ ଏପ୍ରକାର ପ୍ରସ୍ତାବ ବିଶେଷ ଉପଯୋଗୀ । ତେଣୁ ପ୍ରଥମ ଆସନ୍ନ ପ୍ରସ୍ତାବରେ, ଗୋଟିଏ ଗୁରୁ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥରେ ଗୋଟିଏ ନ୍ୟୁଟ୍ରନ ବନ୍ଦୀ ହେବାଦ୍ୱାରା ସୃଷ୍ଟ ଯୌଗିକ ନିଉକ୍ଲିୟସ ଗୋଟିଏ ଅନମନୀୟ ଦ୍ରବ-ବିନ୍ଦୁ ବୋଲି ନିଆଯାଏ । ଗୋଟିଏ ଦ୍ରବବିନ୍ଦୁର ସମ୍ଭବ ସରଳତମ ବିକୃତି ହେଲା ବିନ୍ଦୁଟି ଗୋଟିଏ ଜୌଣିକ ଅକ୍ଷରେ ଲମ୍ବି ଯାଇ ଡିମ୍ବାକାର

ଧାରଣ କରିବା । ଏପରି ବଢ଼ିବାଦ୍ୱାରା ପୃଷ୍ଠଭାଗର କ୍ଷେତ୍ରଫଳ ବଢ଼ିଯିବ ଓ ତେଣୁ ପୃଷ୍ଠଟାଣ ବଳସବୁ ତାକୁ ପୁଣି ଗୋଲାକାରକୁ ଫେରାଇ ନେବାପାଇଁ କାମ କରିବେ । ପର୍ଯ୍ୟାପ୍ତ ଶକ୍ତି ଥିଲେ ଏପରି ଅଧିକ ପରିମାଣର ବିକୃତି ସୃଷ୍ଟି ହେବା ସମ୍ଭବ ହେଲେ, ସେଥିରେ ବିନ୍ଦୁଟି ପ୍ରାୟ ଦୁଇ ସମାନ ଗୋଲକରେ ଭାଙ୍ଗିଯିବା ସମ୍ଭବ ହେବ । ଏଥିପାଇଁ ମୋଟ ପୃଷ୍ଠଶକ୍ତିର 0·26 ପରିମାଣର ଶକ୍ତି ଦରକାର ହେବ ବୋଲି ଦେଖାଇ ଦେଇହେବ । ଯଦି ଗୋଟିଏ ବିନ୍ଦୁ ଉପରେ ସମଗ୍ରରେ ଚାର୍ଜ ବାଣ୍ଟି ହୋଇ ରହିଥାଏ, ତେବେ ସେହି ବିନ୍ଦୁର ବିକୃତ ପରି ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ ଶକ୍ତି କମିଯିବ (କାରଣ ଚାର୍ଜଗୁଡ଼ିକ ପରସ୍ପରଠାରୁ ଦୂରକୁ ଘୁଞ୍ଚିଯିବେ) । ତେଣୁ ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ ବଳ ପୃଷ୍ଠବଳକୁ ବାଧାଦେବ ଓ ବିନ୍ଦୁଟିକୁ ଖଣ୍ଡଖଣ୍ଡ କରିଦେବାପାଇଁ କମ୍ ବଳ ଦରକାର ହେବ ।

ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ଘଟଣାରେ ମଧ୍ୟ ଏକପ୍ରକାର ପୃଷ୍ଠଟାଣର ପ୍ରଭାବ ବିଷୟରେ ଚିନ୍ତା କରିବା ଉଚିତ, କାରଣ ପୃଷ୍ଠଦେଶରେ ଥିବା କଣିକାଗୁଡ଼ିକର ମଧ୍ୟସ୍ଥଳରେ ଥିବା କଣିକାମାନଙ୍କ ତୁଳନାରେ କମ୍ ପଡ଼ୋଶୀ ଅଛନ୍ତି; ତେଣୁ ଏମାନେ ମୋଟ ଶକ୍ତିକୁ କମ୍ ଅବଦାନ ଦେଇଥାନ୍ତି । ପ୍ରକୃତରେ, ଦ୍ରବବିନ୍ଦୁ ମଡେଲରେ ଲଘୁ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର ପ୍ରତି କଣିକାପାଇଁ କମ୍ ବନ୍ଧନଶକ୍ତି ଦେଖିବାର ଚେଷ୍ଟା ଏହି କାରଣରୁ ହୋଇଥାଏ (ଚିତ୍ର ୨୫·୩) କାରଣ ଲଘୁ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କରେ ପୃଷ୍ଠତଳ ଓ ଘନଫଳର ଅନୁପାତ ଅଧିକ । ଗୋଟିଏ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ପୃଷ୍ଠତଳର କ୍ଷେତ୍ରଫଳ, ତେଣୁ ଏହାର ପୃଷ୍ଠତଳର ଶକ୍ତି $A^{2/3}$ ପ୍ରତି ଅନୁପାତୀ । ଏଠାରେ A ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ସଂଖ୍ୟା । ଅନ୍ୟପକ୍ଷରେ, ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ ଶକ୍ତି $Z^2/A^{1/3}$ ପ୍ରତି ଅନୁପାତୀ (ଅନୁ: ୨୫·୭) ଏବଂ Z^2/A ଅନୁପାତ ସ୍ଥିରବୈଦ୍ୟୁତିକ ଓ ପୃଷ୍ଠତଳର ପ୍ରଭାବର ଆପେକ୍ଷିକ ପ୍ରାଧାନ୍ୟର ଏକ ପରିମାପ । ଏହି ଅନୁପାତର ଏକ ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ସଙ୍କଟ ମୂଲ୍ୟର ଉପରକୁ ଗଲେ ଗୋଟିଏ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ କୌଣସି ସାମାନ୍ୟ ବିକୃତି ପାଇଁ ଅସ୍ଥାୟୀ ଏବଂ ଅଧିକରୁ ଅଧିକ ଲମ୍ବ ହୋଇ ଦୁଇଟି ପ୍ରାୟ ସମାନ ଖଣ୍ଡରେ ଭାଙ୍ଗିଯିବ । ଏହି ସଙ୍କଟ ମୂଲ୍ୟର ପରିମାଣ ସ୍ଥାୟୀ ନ୍ୟୁକ୍ଲାଇଡ଼ମାନଙ୍କରୁ ଅବକଳିତ ଜ୍ଞାତ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ଧ୍ରୁବାଙ୍କମାନଙ୍କଠାରୁ ସ୍ଥିର କରାଯାଇପାରିବ । ଏହାର ମୂଲ୍ୟ $\left(\frac{Z^2}{A}\right)_{limit} = 45$ ବୋଲି ସ୍ଥିର ହୋଇଛି; ଏହି ମୂଲ୍ୟ $_{92}U^{238}$ ପାଇଁ ମିଳୁଥିବା ମୂଲ୍ୟର ପ୍ରାୟ 25% ଉଚ୍ଚ ।

ତେଣୁ ୟୁରାନିୟମଠାରୁ ଉଚ୍ଚତର ପାରମାଣବିକ ସଂଖ୍ୟା ବିଶିଷ୍ଟ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥଗୁଡ଼ିକ ସ୍ୱତଃ ବିଖଣ୍ଡନ ପାଇଁ ଅସ୍ଥାୟୀ ବୋଲି ଆଶା କରାଯାଇପାରିବ ।

(ଖ) ବିଖଣ୍ଡନ ଦେହଳୀ :

Z^2/Aର ସଙ୍କଟ ମୂଲ୍ୟଠାରୁ କମ୍ ମୂଲ୍ୟ ବିଶିଷ୍ଟ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ସବୁରେ ସ୍ୱତଃଖଣ୍ଡନକୁ ପ୍ରବର୍ତ୍ତିତ କରାଇବାପାଇଁ ଏକ ସସୀମ ପରିମାଣର ବିକୃତି ଦରକାର ହୋଇଥାଏ । Z^2/Aର ମୂଲ୍ୟ କମିବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଆବଶ୍ୟକ ଅଧିକା ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ବଢ଼ିଯାଏ । ଗୋଟିଏ ନ୍ୟୁଟ୍ରନ ଗୋଟିଏ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସରେ ବନ୍ଦୀ ହେବାଦ୍ୱାରା ବିଖଣ୍ଡନ ହେବକି ନା, ତାହା ନ୍ୟୁଟ୍ରନ ବନ୍ଧ ଅଣିଥିବା ଶକ୍ତି ଯୌଗିକ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସରେ ଆବଶ୍ୟକୀୟ ବିକୃତି ସୃଷ୍ଟି କରିବା ପାଇଁ ଯଥେଷ୍ଟ ହେବ କି ନା, ତା ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ । ୟୁରାନିୟମରେ ବହୁ ପରିମାଣରେ ମିଳୁଥିବା ଆଇସୋଟୋପରେ U^{238} ନ୍ୟୁଟ୍ରନଟିଏ ବନ୍ଦୀ ହେବାଦ୍ୱାରା ଗଠିତ U^{239} ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସ ପାଇଁ ଏହି ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ପ୍ରାୟ 6MeV, U^{235}ରୁ ଗଠିତ U^{236} ପାଇଁ ପ୍ରାୟ 5·3MeV । U^{239}ରେ ଗୋଟିଏ ନ୍ୟୁଟ୍ରନର ବନ୍ଧନଶକ୍ତି 5·2 MeV ବୋଲି ହିସାବ କରାଯାଇଛି, ତେଣୁ U^{238}ରେ ବିଖଣ୍ଡନ ସୃଷ୍ଟି କରିବାପାଇଁ ପ୍ରାୟ 1MeV ଗତିଜ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ନ୍ୟୁଟ୍ରନ ଆବଶ୍ୟକ ହୋଇଥାଏ । U^{236}ର ପ୍ରତ୍ୟେକ ଯୁଗ୍ମ – Z, ଯୁଗ୍ମ – N ଗୁଣ ହୋଇଥିବାରୁ ଏହି ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସରେ ବନ୍ଧନଶକ୍ତି 1MeV ଅଧିକ ଓ ଏହା ବିଖଣ୍ଡନ ପାଇଁ ହେବ ଦରକାର ହେଉଠାରୁ ଅଧିକ । ତେଣୁ ତାପୀୟ ନ୍ୟୁଟ୍ରନମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା U^{235}ରେ ବିଖଣ୍ଡନ ସମ୍ଭବ । ଏହି ଆଇସୋଟୋପର ପ୍ରାକୃତିକ ୟୁରାନିୟମରେ ଅପେକ୍ଷିକ ଲବ୍ଧତା ହେଲି 140ରେ 1 ଅଂଶ ଏହି ଆଇସୋଟୋପ ଲାଗି ପ୍ରାକୃତିକ ୟୁରାନିୟମରେ ବିଖଣ୍ଡନ ଦେଖାଯାଇଥିଲା ।

(ଗ) ଶକ୍ତି ନିଷ୍କାସନ :

ଗୋଟିଏ ୟୁରାନିୟମ ନିୟୁକ୍ଲିୟସ ଦୁଇଖଣ୍ଡ ହୋଇଯିବାରେ ନିର୍ଗତ ମୋଟ ଶକ୍ତି ଉପ ୨୫.୩ରେ ଥିବା ବନ୍ଧନ-ଶକ୍ତି ରେଖାରୁ ହିସାବ କରି ହେବ । A = 120 ପାଖରେ ପ୍ରତି କଣିକା ପାଇଁ ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତି ହେଲା 8·5 MeV; କିନ୍ତୁ A = 240 ପାଖରେ ଏହାର ମୂଲ୍ୟ 7·6MeV । ତେଣୁ ସେଠାରେ ପ୍ରତି ନିୟୁକ୍ଲିୟନ ପାଇଁ 0·9 MeV ଶକ୍ତି ମିଳୁଛି ବା 2'16 MeV ଶକ୍ତି ମିଳୁଛି । ସକଳ ଉତ୍ତେଜନା ଶକ୍ତିଠାରେ

ବିଖଣ୍ଡନ ଦ୍ୱାରା ଦାୟିତ୍ୱଶୀ ହୋଇଥାଏ । ଅତି ସାଧାରଣ ପ୍ରକାରର ବିଖଣ୍ଡନରେ ବସ୍ତୁତ୍ୱର ଅନୁପାତ 1 : 1·4 ହୋଇଥାଏ ଓ ସେଥିରେ 200meV ଶକ୍ତି ନିଷ୍କାସିତ ହୋଇଥାଏ । ଏଥିରୁ ଅଧିକାଂଶ ଶକ୍ତି ଗତିଜ ଶକ୍ତି ଆକାରରେ ଦେଖା ଦେଇଥାଏ, ଅଳ୍ପ ପରେ ଖଣ୍ଡମାନଙ୍କରୁ β ବିନାଶ ଆକାରରେ 20MeV ବାହାରିଥାଏ । ବିଖଣ୍ଡନରେ ଉତ୍ପନ୍ନ ନିଉକ୍ଲିୟସଗୁଡ଼ିକୁ ଷ୍ଟାୟୀ ନିଉକ୍ଲେଇଡ଼ ରେଖାକୁ ଆସିବାପାଇଁ ବହୁ ସମୟ ଦରକାର ହୋଇଥାଏ । ପ୍ରାୟ ଛ'ରୁ ଆଠଟି ନିଉଟ୍ରନକୁ ପ୍ରୋଟନରେ ପରିଣତ କରିବା ଦରକାର ହୁଏ; ତେଣୁ ବହୁ ଜଟିଳ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ଶ୍ରେଣୀ ଏଥିମଧ୍ୟରେ ରହିଯାଏ । ଅଳ୍ପ କେତେକ ଘଟଣାରେ (1%ରୁ କମ୍) ବିନାଶ ସମୟରେ ନିଉଟ୍ରନ ନିର୍ଗତ ହୋଇଥାଏ; ଏଗୁଡ଼ିକ ବିଳମ୍ବରେ କେତେ ସେକେଣ୍ଡରୁ କେତେକ ମିନିଟ ମଧ୍ୟରେ ନିର୍ଗତ ହୋଇଥାନ୍ତି ଓ ଏଗୁଡ଼ିକ ବିଳମ୍ବିତ-ନିଉଟ୍ରନ ନାମରେ ପରିଚିତ । ମୋଟରେ, ବିଖଣ୍ଡନରୁ 160ରୁ ଅଧିକ ଭିନ୍ନ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ନିଉକ୍ଲାଇଡ଼ ମିଳିଥାଏ; ପ୍ରାଥମିକ କର୍ମୀମାନେ ସେମାନଙ୍କର ରାସାୟନିକ ଗୁଣରୁ ଠିକ୍ କରି ପାରି ନଥିବାରୁ ବିଶେଷ ଅସ୍ପଷ୍ଟ ହେବାର କ'ଣ ଅଛି ?

25·21 ଶିପ୍ର-ବିଭଜନ– ଚେନ୍ ପ୍ରକ୍ରିୟା :

ୟୁରେନିୟମର ବିଖଣ୍ଡନ ଦ୍ୱାରା ମିଳୁଥିବା ଖଣ୍ଡଗୁଡ଼ିକରେ ସ୍ଥିର ଉତ୍ପନ୍ନ ପଦାର୍ଥ ଅପେକ୍ଷା ଅଧିକ ନିଉଟ୍ରନ ରହୁଥିବାରୁ ଆମେ ଆଶା କରି ପାରିବା ଯେ, ଏପରି କି ପ୍ରଥମ ପୃଥକ୍କରଣ ସମୟରୁ କେତେକ ନିଉଟ୍ରନ ମୁକ୍ତ ହୋଇଯିବେ । ଯଦି ପ୍ରତି ବିଖଣ୍ଡନରେ ଏକ ବା ଏକାଧିକ ନିଉଟ୍ରନ ବାହାରୁଥାଆନ୍ତି, ତେବେ ସୁବିଧାଜନକ ଜ୍ୟାମିତିକ ବ୍ୟବସ୍ଥା ଅନୁସାରେ ଏହି ନିଉଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକୁ ବ୍ୟବହାର କରି ଅନ୍ୟ ୟୁରେନିୟମ ପରମାଣୁମାନଙ୍କର ବିଖଣ୍ଡନ କରାଯାଇପାରିବ; ଏହି ପ୍ରଣାଳୀରେ ଗୋଟିଏ ସ୍ୱୟଂକ୍ରିୟ ଚେନ୍ ପ୍ରକ୍ରିୟା ସୃଷ୍ଟି କରାଯାଇପାରିବ । ବିଖଣ୍ଡନ ସମ୍ବନ୍ଧରେ ପ୍ରଥମ ଆଲୋଚନାବେଳେ ଏହି ସମ୍ଭାବନା ଅନୁମାନ କରାଯାଇଥିଲା । ଏହି ପ୍ରଣାଳୀରେ ବହୁ ପରିମାଣରେ ନିଉକ୍ଲିୟର ଶକ୍ତି ମିଳିବା ସମ୍ଭବ ହେବ ବୋଲି ନାନା କଳ୍ପନା ଚାଲିଥିଲା । ରାସାୟନିକ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ମାତ୍ର କେତେକ ଇଲେକ୍ଟ୍ରନ ଭୋଲ୍ଟ ଶକ୍ତି ମିଳିଥାଏ, ତାତୁଳନାରେ ପ୍ରତି ବିଖଣ୍ଡନରେ 200MeV ଶକ୍ତି ମିଳୁଥିବାରୁ ଏହା ବେଶ୍ ଆକର୍ଷଣୀୟ ହୋଇଥିଲା । ଶକ୍ତିର ଏକ ଉତ୍ସ ଭାବରେ ଏହାର ପ୍ରାଧାନ୍ୟ ଅନୁମାନ କରିବା ଅତି ସହଜ; ସମୟକ୍ରମେ ଏହା ଏକ ଯୁଦ୍ଧ ସ୍ତରରେ ବ୍ୟବହୃତ

ହୋଇ ପାରିବ ବୋଲି ମଧ୍ୟ ମନେ କରାଗଲା । ଏକ ସ୍ୱୟଂକ୍ରିୟ ପ୍ରକ୍ରିୟାର ସମ୍ଭାବନା ହିସାବ କରିବାରେ ସଙ୍କଟଜନକ ଅବସ୍ଥା ହେଲା । ନ୍ୟୁଟ୍ରନର ବିଭାଜନ–ପ୍ରତି ବିଖଣ୍ଡନରେ କେତୋଟି ନ୍ୟୁଟ୍ରନ ବାହାରିବ ଓ ସେଥିରୁ କେତୋଟି ନ୍ୟୁଟ୍ରନ ଅନ୍ୟ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ନଷ୍ଟ ହେବା ପୂର୍ବରୁ ଅନ୍ୟ ବିଖଣ୍ଡନ ସଞ୍ଚାର କରିବାକୁ ସମର୍ଥ ହେବ ।

(କ) ୟୁରାନିୟମରେ ଚେନ୍ ପ୍ରକ୍ରିୟା :

କ୍ଷିପ୍ର ନ୍ୟୁଟ୍ରନ ଅର୍ଥ ଯେଉଁ ନ୍ୟୁଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ବିଖଣ୍ଡନ ସହ ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଉତ୍ପନ୍ନ ହୋଇଥାଏ, U^{235}ରେ ତାପୀୟ ନ୍ୟୁଟ୍ରନ ଦ୍ୱାରା ଘଟିତ ବିଖଣ୍ଡନବେଳେ ଉତ୍ପନ୍ନ କ୍ଷିପ୍ର ନ୍ୟୁଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା U^{235}ର ଗୋଟିଏ ପ୍ରତଳ କରାଯାଇଥିବା ପାତଳ ସାମ୍ପଲକୁ ତାପୀୟ ନ୍ୟୁଟ୍ରନମାନଙ୍କ ଦ୍ୱାରା ଆଘାତ କରି ଓ ସେଥିରୁ ଉତ୍ପନ୍ନ ବେଗଗାମୀ ନ୍ୟୁଟ୍ରନମାନଙ୍କର ସଂଖ୍ୟା ଗଣନା କରି ସ୍ଥିର କରାଯାଇପାରେ । ପ୍ରତି ବିଖଣ୍ଡନରେ ମୋଟ ବେଗଗାମୀ ନ୍ୟୁଟ୍ରନମାନଙ୍କ ସଂଖ୍ୟା 2·65 ବୋଲି ଦେଖାଯାଇଛି । ସେମାନଙ୍କର ଶକ୍ତି ୧ରୁ 15MeV ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ହୋଇଥାଏ । (କେତୋଟିର ଏହାଠାରୁ ଅଧିକ ଶକ୍ତି ମଧ୍ୟ ଥାଏ) ଓ ସର୍ବାଧିକ ସମ୍ଭାବ୍ୟ ମୂଲ୍ୟ ପ୍ରାୟ 1MeV ହୋଇଥାଏ । ଏହି 2·6 ନ୍ୟୁଟ୍ରନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ଯଦି ଗୋଟିଏ ଆଉ ଗୋଟିଏ ବିଖଣ୍ଡନ ସୃଷ୍ଟି କରିବାକୁ ସମର୍ଥ ହୁଏ, ଗୋଟିଏ ଚେନ୍ ପ୍ରକ୍ରିୟା ସମ୍ଭବ ହେବ; ଯଦି 1·6ରୁ ଅଧିକ ଅନ୍ୟ ପ୍ରଣାଳୀରେ ନଷ୍ଟ ହୋଇଯାଏ ବା ଶୋଷିତ ହୋଇଯାଏ, ତେବେ ପ୍ରକ୍ରିୟାଟି ସ୍ୱୟଂକ୍ରିୟ ହେବନାହିଁ ।

ଗୋଟିଏ ସାଧାରଣ ୟୁରେନିୟମ ସାମ୍ପଲରେ ଚେନ ପ୍ରକ୍ରିୟା ସୃଷ୍ଟି ହେବାର ସମସ୍ୟା ଅଲୋଚନା କରିବା । ସରଳତା ଦୃଷ୍ଟିରୁ ଏହି ସାମ୍ପଲଟିର ବିସ୍ତାର ଅସୀମ ବୋଲି ଆମେ ଧରିନେବା, ତେଣୁ ଏହାର ପୃଷ୍ଠଦେଶରୁ ବାହାରିଯାଇ କୌଣସି ନ୍ୟୁଟ୍ରନ ନଷ୍ଟ ହେବ ନାହିଁ । ଏହି ସାମ୍ପଲ ମଧ୍ୟରେ କୌଣସିଠାରେ ଏକ ବିଖଣ୍ଡନ ଘଟି ସେଥିରୁ 2·6 ନ୍ୟୁଟ୍ରନ ବାହାରୁଛି ବୋଲି ଆମେ ଅନୁମାନ କରିବା ଓ ଏଥିରୁ ଗୋଟିଏ ଆଉ ଏକ ବିଖଣ୍ଡନ ଘଟାଇବ କି ନା ହିସାବ କରିବାକୁ ଚେଷ୍ଟା କରିବା । କେତେକ ଆବଶ୍ୟକୀୟ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ ଟେବୁଲ ୨୫·୪ରେ ଦିଆଯାଇଅଛି ।

ଟେବୁଲ ୨୫·୪ କେତେକ ବିଖଣ୍ଡନୀୟ ବସ୍ତୁରେ ନିଉଟ୍ରନ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ—ବାର୍ଣ୍ଣରେ

	U^{235}	U^{238}	U†	Pu^{239}
ବେଗଗାମୀ ନିଉଟ୍ରନଙ୍କପାଇଁ ହାରାହାରି ବିଖଣ୍ଡନ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ	1·3	·6	·6	2·0
ତାପୀୟ ନିଉଟ୍ରନଙ୍କ ପାଇଁ ବିଖଣ୍ଡନ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ	577	0	4·1	741
,, ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ସ୍ୱ-ବନ୍ଦୀ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ	101	2·7	3·4	274
ବେଗଗାମୀ ନିଉଟ୍ରନଙ୍କପାଇଁ ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ବିକ୍ଷୁରଣ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ	3		3	2·5
ନିଉଟ୍ରନଙ୍କପାଇଁ ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ବିକ୍ଷୁରଣ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ	4		3	4

† ପ୍ରାକୃତିକ ସ୍ତରରେ ମିଳୁଥିବା ୟୁରେନିୟମ $U^{238}/U^{235} = 140$ ପ୍ରାୟ 1MeV ଶକ୍ତିବିଶିଷ୍ଟ ନିଉଟ୍ରନଙ୍କ ପାଇଁ U^{238}ର ବିଖଣ୍ଡନ ସମ୍ଭବ; ଏହାର ହାରାହାରି ଫଳପ୍ରଦ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ ହେଲା 0·6 ବାର୍ଣ୍ଣ। U^{235}ରେ ବିଖଣ୍ଡନର ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ ଏହି ଶକ୍ତି ପରିସର ମଧ୍ୟରେ U^{238} ଅପେକ୍ଷା ଅଧିକ; କିନ୍ତୁ ଏହାର ଉପସ୍ଥିତି ମାତ୍ର 1/140 ହୋଇ ଥିବାରୁ ଏହାର ପ୍ରଭାବ ନଗଣ୍ୟ। U^{238}ର ଦେହଳିର ଉପରକୁ ଥିବା ନିଉଟ୍ରନମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ଅଳ୍ପ କେତେକଙ୍କର ବିଖଣ୍ଡନ ସୃଷ୍ଟି କରିବାର ସୁଯୋଗ ଘଟେ; ଏଥିରୁ ଅଧିକାଂଶ ଅସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ବିକ୍ଷୁରଣ ପ୍ରଣାଳୀରେ ବହୁ ପରିମାଣରେ ଶକ୍ତି U^{238} ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କୁ ଉତ୍ତେଜିତ କରି ନଷ୍ଟ ହୋଇଯାଏ। ଅସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ବିକ୍ଷୁରଣର ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ 3 ବାର୍ଣ୍ଣ—ବିଖଣ୍ଡନ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦର 5ଗୁଣ। ଏହାଛଡ଼ା ନିଉଟ୍ରନ ସବୁ ଅଳ୍ପେ ଅଳ୍ପେ ହେଲେ ବି, ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ସଂଘର୍ଷରେ ($\sigma = 3$ ବାର୍ଣ୍ଣ) ଶକ୍ତି ହରାନ୍ତି। ତେଣୁ ପ୍ରଥମରୁ ମୋଟାମୋଟି ଯେଉଁ 30% ନିଉଟ୍ରନଙ୍କର 1·5*MeV*ରୁ ଅଧିକ ଶକ୍ତି ଥାଏ, ପ୍ରାୟ 1% (ମୋଟ ସଂଖ୍ୟାର 3%) U^{238}ରେ ବିଖଣ୍ଡନ ଘଟାଇପାରେ ଓ ଅନ୍ୟଗୁଡ଼ିକ ଦେହଳିଶକ୍ତିକୁ କମିଆସି ମନ୍ଥର ହୋଇଯାଆନ୍ତି।

ନିଉଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ଯେତେବେଳେ ତାପୀୟ ଗତିବେଗ ଲାଭ କରନ୍ତି, U^{235}ରେ ବିଖଣ୍ଡନ ପ୍ରାଧାନ୍ୟ ଲାଭ କରେ; U^{235}ର ବିଖଣ୍ଡନ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ ତାପୀୟ ଶକ୍ତିବେଳେ 577

ବାର୍ଣ୍ଣ । ପ୍ରାକୃତିକ ସାମ୍ପଲରେ ଏହାର କମ୍ ଉପସ୍ଥିତି ଫଳରେ ଏହାର ଫଳପ୍ରଦ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ ହେଲା 4·1 ବାର୍ଣ୍ଣ । ଯେତେ ନିଉଟ୍ରନ ତାପୀୟ ଗତିବେଗ ଲାଭ କରନ୍ତି, ସମସ୍ତେ ବିଖଣ୍ଡନ ସୃଷ୍ଟି କରନ୍ତି ନାହିଁ: କାରଣ U^{235} ଓ U^{238} ଉଭୟରେ (n, γ) ବନ୍ଦୀ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ ମଧ୍ୟ ଘଟିଥାଏ । ସାଧାରଣ ୟୁରାନିୟମରେ ଏହି ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦର ଫଳପ୍ରଦ ମୂଲ୍ୟ ହେଲା 3·4 ବାର୍ଣ୍ଣ । ତେଣୁ ଯେଉଁ ନିଉଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ତାପୀୟ ଶକ୍ତି ଲାଭ କରନ୍ତି, ସେମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ମାତ୍ର ଅର୍ଦ୍ଧେକ ପ୍ରାୟ U^{235}ରେ ବିଖଣ୍ଡନ ଘଟାଇଥାନ୍ତି । ଏଗୁଡ଼ିକୁ ମନ୍ଥର କରିବା ପ୍ରଣାଳୀରେ ଉଦ୍ଭବ ଏକ ଅଧିକ ବିପଦଜନକ ପରିସ୍ଥିତି ଘଟିଥାଏ । ଏହା ହେଲା ନିଉଟ୍ରନର U^{238}ରେ ସନାଦୀ ଶୋଷଣ । ଏହି ପ୍ରଣାଳୀରେ U^{239} ତିଆରି ହୁଏ । (n, γ) ପ୍ରକ୍ରିୟା ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ 5eVରୁ କେତେକ KeV ନିଉଟ୍ରନ ଶକ୍ତି ପରିସର ମଧ୍ୟରେ ଅନେକ ଶୃଙ୍ଗ ରଚନା କରିଥାଏ, ଏଥିରୁ ସର୍ବପ୍ରଧାନଟି 6·7eV ଶକ୍ତି ନିକଟରେ ହୋଇଥାଏ । ଏହାର ଫଳପ୍ରଦ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ ପ୍ରସ୍ଥ 0·03eV ଓ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ 20,000 ବାର୍ଣ୍ଣ ହୁଏ । ସନାଦଠାରେ ବିଚ୍ଛୁରଣ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ ବନ୍ଦୀ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦର ମାତ୍ର 1/20 ହୋଇଥାଏ । ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ସଂଘର୍ଷରେ ପ୍ରତ୍ୟେକରେ ମାତ୍ର 1% ଶକ୍ତି କମୁଥିବାରୁ [ଦେଖ, ସମୀକରଣ (୨୫·୧)] ଅଧିକାଂଶ ନିଉଟ୍ରନ ତାପୀୟଶକ୍ତି ଲାଭ କରିବା ପୂର୍ବରୁ ସନାଦଠାରେ ବନ୍ଦୀ ହୋଇଯିବେ । ପ୍ରକୃତ ପରିସ୍ଥିତି ଅତି ଜଟିଳ, ପ୍ରାକୃତିକ ୟୁରାନିୟମରେ ସ୍ୱୟଂକ୍ରିୟ ପ୍ରକ୍ରିୟା ଯେ ଅସମ୍ଭବ, ଏହି ସିଦ୍ଧାନ୍ତ ବୋଧହୁଏ ଠିକ୍ ।

(ଖ) ମନ୍ଥକ ରିଆକ୍ଟର :

U^{238}ରେ ସନାଦ ବନ୍ଦୀ ସମସ୍ୟା ଏକ ମନ୍ଥକ ବ୍ୟବହାର କରି ସମାଧାନ କରି ହେବ । ମନ୍ଥକ ଅର୍ଥ ସନାଦଠାରେ ଅତି ବେଗରେ ନିଉଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକୁ ମନ୍ଥର କରି ଦେଉଥିବା ଏକ ଲଘୁ ପଦାର୍ଥ ୟୁରାନିୟମ ସହ ମିଶ୍ରି କରି ରଖିବା । ଉଦାହରଣ ସ୍ୱରୂପ, ହାଇଡ୍ରୋଜେନରେ ପ୍ରତି ସଂଘର୍ଷରେ ଶକ୍ତି ପରିମାଣ $1/e$ ଗୁଣକ ଦ୍ୱାରା ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହୋଇଥାଏ ଓ ମନ୍ଥର ନିଉଟ୍ରନମାନଙ୍କ ପାଇଁ ଏହାର ବିଚ୍ଛୁରଣ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ 20 ବାର୍ଣ୍ଣ (ଚିତ୍ର ୨୫·୨୧) । ପ୍ରତି ୟୁରାନିୟମ ପରମାଣୁ ପାଇଁ ଶତ, କହ, 100 ପରମାଣୁ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ମିଶି କରି ରହେ (ଜଳ ବା ପାରାଫିନ ଆକାରରେ) ଅଧିକାଂଶ ନିଉଟ୍ରନ ସଂନାଦ ଅଞ୍ଚଳଟିକୁ ବନ୍ଦୀ ନହୋଇ ଡେଇଁଯିବେ । ଦୁର୍ଭାଗ୍ୟବଶତଃ ହାଇଡ୍ରୋଜେନର

ତାପୀୟ ନିଉଟ୍ରନ ଶୋଷଣ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ 0·33 ବାର୍ଣ୍ଣ, ତେଣୁ ନିଉଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ମନ୍ଥର ହେବା ସଙ୍ଗେ ସଙ୍ଗେ ଏହା ସେଗୁଡ଼ିକୁ ଗିଳିପକାଏ ଓ ସ୍ୱୟଂକ୍ରିୟ ପ୍ରକ୍ରିୟାକୁ ବାଧକ କରେ । ଅନ୍ୟ ଲଘୂକାରୀମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ଲିଥିୟମ ଓ ବୋରନ୍ ସେହି ଅସୁବିଧା କରନ୍ତି । ହିଲିୟମ୍, ଡ୍ୟୁଟେରିୟମ, ବେରିଲିୟମ ଓ କାର୍ବନଙ୍କର ତାପୀୟ-ଶୋଷଣ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ ଅତି କମ, ତେଣୁ ସେମାନେ ମନ୍ଦକ ଭାବରେ ବ୍ୟବହୃତ ହେବାର ସମ୍ଭାବନା ରହିଅଛି ।

(ଗ) ସଙ୍କଟଜନକ ଆକାର :

ଗୋଟିଏ ରିଆକ୍ଟରର ଆକାର ସସୀମ ହୋଇଥିବାରୁ ଏଥିରୁ ନିଉଟ୍ରନ ବାହାରି ଯିବାର ସମସ୍ୟା ଉପୁଜିପାରେ । ବାହାରିଯିବା ଗୋଟିଏ ପୃଷ୍ଠଦେଶରେ ଘଟୁଥିବା ଘଟଣା ହୋଇଥିବାରୁ ଓ ଅନ୍ୟସବୁ ପାରମାଣବିକ କ୍ରିୟା ଘନଫଳ ପ୍ରତି ସରଳଭାବରେ ଅନୁପାତୀ ହୋଇଥିବାରୁ, ରିଆକ୍ଟରଟି ଯେତେ ଛୋଟ ହେବ, ସେଥିରୁ ନିଉଟ୍ରନ ବାହାରିଯିବା ସମସ୍ୟା ସେତେ ଗୁରୁତର ହେବ । ରିଆକ୍ଟରର ଯେଉଁ ଲଘୁତମ ଆକାରରେ, ତାହା ଠିକ୍ ସ୍ୱୟଂକ୍ରିୟ ହୋଇପାରେ ତାହାକୁ ତା'ର ସଙ୍କଟଜନକ ଆକାର କହନ୍ତି । ନିମ୍ନଦତ୍ତ ସୂତ୍ର ସାହାଯ୍ୟରେ ସ୍ଥୂଳଭାବରେ ତା'ର ପରିମାଣ ସ୍ଥିର କରାଯାଇପାରିବ । ଗୋଟିଏ ଗ୍ରାଫାଇଟ ମନ୍ଦକରେ ତାପୀୟ ଅବସ୍ଥାକୁ ଆସିବାପାଇଁ ଗୋଟିଏ ନିଉଟ୍ରନ କାର୍ବନ ନିଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କର ପ୍ରାୟ 100ଟି ସଂଘର୍ଷ କରିଥାଏ । ସଂଘର୍ଷ ପାଇଁ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ ହେଲା ମୋଟାମୋଟି 4 ବାର୍ଣ୍ଣ, ଦୁଇ ସଂଘର୍ଷ ମଧ୍ୟରେ ଗଡ଼ମୁକ୍ତପଥ ହେଲା

$$\lambda = \frac{1}{\sigma N} = \frac{12}{4\times10^{-24}\times6\times10^{23}\times1{\cdot}6} \approx 3 \text{ ସେ. ମି.}$$

ଏଠାରେ σ ହେଲା ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ବିକ୍ଷେପଣ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ ଓ N ହେଲା ପ୍ରତି ଘନସେଣ୍ଟିମିଟରରେ ନିଉକ୍ଲିୟସ ସଂଖ୍ୟା । ପ୍ରତି ସଂଘର୍ଷରେ ନିଉଟ୍ରନ ମନଇଚ୍ଛା ଦିଗ ପରିବର୍ତ୍ତନ କରୁଥିବାରୁ n_1 ସଂଘର୍ଷ ପରେ ଏହାର ମୂଳବିନ୍ଦୁରୁ ଏହା ହାରାହାରି $\sqrt{n_1}\times3$ ବା 30 ସେ. ମି. ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧୀୟ ଦୂରତା ଗତି କରିଥିବ । ଏହା ତାପୀୟ ଶକ୍ତି ଲାଭ କରିବାପରେ ନିଉଟ୍ରନଟି ଶେଷରେ ବନ୍ଦୀ ହେବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଅଧିକ ସଂଘର୍ଷ କରୁଥିବ । ଏଥିରେ ହୁଏତ ବିଭାଜନ ହେବ ବା (n, γ) ପ୍ରକ୍ରିୟା ଘଟିବ । ବନ୍ଦୀହେବା ପୂର୍ବରୁ ସଂଘର୍ଷ ସଂଖ୍ୟା ହେବ $n_2 = \Lambda/\lambda$, ଏଠାରେ Λ ହେଲା ଶୋଷଣ ପାଇଁ ଗଡ଼ମୁକ୍ତ ପଥ ଓ λ ହେଲା ବିକ୍ଷେପଣ

ପାଇଁ ତଡ଼ମୁକ୍ତପଥ । ତେଣୁ ବସ୍ଥାପନ ହେଲ $\sqrt{\lambda_{tr}\lambda}$ ବା $(\Lambda\lambda)^{\frac{1}{2}}$ । ପ୍ରତ ୟୁରାନିୟମ ପରମାଣୁ ପାଇଁ 100ଟି କାର୍ବନ ପରମାଣୁ ଥିବା ଗୋଟିଏ ସ୍ତମ୍ଭରେ, Λର ମୂଲ୍ୟ ୟୁରାନିୟମରେ ଯେତେ ହୁଅନ୍ତା, ତା'ର 100 ଗୁଣ ହେବ,

$$\Lambda=\frac{100}{\sigma N}=\frac{100\times238}{7{\cdot}5\times10^{-24}\times6\times10^{23}\times19}\simeq300 \text{ ସେ. ମି.}$$

ଏଠାରେ ବଖଣ୍ଡନ ପାଇଁ ଓ ତେଜସ୍କ୍ରିୟ ବନ୍ଦୀ ପାଇଁ ଏକତ୍ର ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ ହେଲ σ । ଗ୍ରାଫାଇଟ ଦ୍ୱାରା ସ୍ଥିରୀକୃତ ବକ୍ଷୁଟଣ ତଡ଼ମୁକ୍ତ ପଥ, λ ପୁଣି ସେହ 3 ସେ. ମି. ହେବ । ତାପୀୟ ହେବାପାଇଁ ଓ ବନ୍ଦୀ ହେବାପାଇଁ ଦୂରତା, $(30^2+300\times3)^{\frac{1}{2}}\simeq40$ ସେ. ମି. ହେଲ ନଉଟ୍ରନଟିଏ ଉତ୍ପନ୍ନ ହେବାଠାରୁ ବନ୍ଦୀ ହେବା ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ଗତ କରିଥିବା ହାରାହାରି ପଥର ଏକ ସ୍ଥୂଳ ମାପ । ଗୋଟିଏ ନର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ନିଉଟ୍ରନ କେତେ ବାଟ ପ୍ରକୃତରେ ଗତ କରିଛ, ତାହା ପରିସଂଖ୍ୟାନିକ ଝଡବାତ ଉପରେ ନର୍ଭର କରେ, ଏବଂ ଏହାର ବହୁ ଅଂଶ ମୋଟାମୋଟି $1/e-40$ ସେ. ମି.ଠାରୁ ଅଧିକ ପରିମାଣରେ ବସ୍ଥାପିତ ହେବ । ଯେହେତୁ ଏହ ବସ୍ଥାପିତ ନଉଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକ ବଖଣ୍ଡନ ପ୍ରଣାଳୀରେ ଅନ୍ୟ ନଉଟ୍ରନ ଗୁଡ଼ିକ ପାଇଁ ଉତ୍ସ ହେବେ, ଏହା ସ୍ପଷ୍ଟ ଯେ ଯେଉଁ ପରିମାଣରେ କ୍ଷତ ସହ୍ୟ କରାଯାଇ ପାରବ ସେହ ସୀମା ମଧ୍ୟରେ ରଖିବାପାଇଁ ରିଆକ୍ଟରଟିର ଆକାର ଏହ ହାରାହାରି ଦୂରତାର ଅନେକ ଗୁଣ କରିବାକୁ ହେବ । ବସ୍ତରଣ ତତ୍ତ୍ୱ ଉପରେ ନର୍ଭର କର କରାଯାଇଥିବା ପ୍ରକୃତ ହସାବରୁ ଗୋଟିଏ ଗୋଲକାକାର ଗ୍ରାଫାଇଟ ରିଆକ୍ଟରର ସଙ୍କଟଜନକ ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ପ୍ରାୟ 300 ସେ. ମି. ହେବ ବୋଲି ଜଣାଯାଇଛି ।

(ଘ) ରିଆକ୍ଟର ନିୟନ୍ତ୍ରଣ :

କାର୍ଯ୍ୟତଃ ରିଆକ୍ଟରଗୁଡ଼ିକୁ ଏହ ସଙ୍କଟଜନକ ଆକାରଠାରୁ ଟିକିଏ ବଡ଼ କରି ତିଆରି କରାଯାଇଥାଏ । ଏଥିରେ ନଉଟ୍ରନ ଶୋଷଣାଙ୍କ ଅଧିକ ଥିବା ବସ୍ତୁର ଛଡ଼ ବା ପାତ ପୁରାଇ ଏହାକୁ ନିୟନ୍ତ୍ରଣ କରାଯାଇଥାଏ । ସାଧାରଣତଃ ଏଥିପାଇଁ କାଡ୍‌ମିୟମ ବ୍ୟବହାର କରାଯାଇଥାଏ । ଏହାକୁ ପୁରାଇ ଗୁଣକକୁ 1·01କୁ କମାଇ ଦିଆଯାଇଥାଏ । ଗୋଟିଏ ରିଆକ୍ଟରର ନିୟନ୍ତ୍ରଣ ବର° ଏକ ସମସ୍ୟା; ଗୋଟିଏ ନଉଟ୍ରନ ଉତ୍ପନ୍ନ ହେବାଠାରୁ ଶେଷରେ ଶୋଷିତ ହେବାପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ କେବଳ କେତେକ ମିଲିସେକେଣ୍ଡ, ଗୁଣକଟି 1·00ରୁ

ସାମାନ୍ୟ ଅଧିକ ହୋଇଗଲେ ବି (ସଙ୍କଟ ପର ଅବସ୍ଥା) ଅଳ୍ପ ସମୟ ମଧ୍ୟରେ ଭୟଙ୍କର ଅବସ୍ଥା ସୃଷ୍ଟି କରିପାରେ । ସୌଭାଗ୍ୟବଶତଃ ସେଠାରେ ବିଳମ୍ବିତ ନିଉଟ୍ରନ ମଧ୍ୟ ଥାନ୍ତି । ଏମାନଙ୍କର ଜୀବନକାଳ ଏକ ସେକେଣ୍ଡର କେତେକ ଭାଗରୁ କେତେକ ମିନିଟ ପର୍ଯ୍ୟନ୍ତ ହୋଇପାରେ । ଏହି ନିଉଟ୍ରନଗୁଡ଼ିକର ସଂଖ୍ୟା ମୋଟ ସଂଖ୍ୟାର 1% ପ୍ରାୟ । ଏହି ବିଳମ୍ବ ସଙ୍କଟ ଅବସ୍ଥାରେ ସାମାନ୍ୟ ପରିବର୍ତ୍ତନ ଫଳରେ ନିଉଟ୍ରନ ଫ୍ଲକ୍ସରେ ହେଉଥିବା ପରିବର୍ତ୍ତନକୁ କେତେମିନିଟ ବା ଅଧିକ ବିଳମ୍ବ କରି ଦେଇଥାଏ ।

(ଡ) ପାୱାର ଉତ୍ପାଦନ :

କାର୍ଯ୍ୟତଃ ଗୋଟିଏ ଚୁଲ୍ଲି ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଏହିଠାରୁ ବଡ଼ କଥା ହେଲା, ଏଥିରେ ଏକକ ସମୟରେ କେତୋଟି ବିଖଣ୍ଡନ ହେଉଛି ବା ଏହାର ପାୱାର ସ୍ତର କେତେ ? ପ୍ରତି ବିଖଣ୍ଡନରେ ପ୍ରାୟ 200MeV ଶକ୍ତି ନିଷ୍କାସିତ ହୋଇଥାଏ, ଏଥିରୁ ଅଧିକାଂଶ ତାପ ଆକାରରେ ପ୍ରକାଶ ପାଇଥାଏ । ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ $3{\cdot}1 \times 10^{10}$ଟି ବିଖଣ୍ଡନ ଘଟିଲେ 1W ପାୱାର ସୃଷ୍ଟି ହୁଏ । ଯେଉଁ ହାରରେ ଏହି ତାପ କାଢ଼ି ନିଆଯାଇପାରିବ, ସେହି ହାରରେ ପ୍ରତି ସେକେଣ୍ଡରେ କେତୋଟି ପ୍ରକ୍ରିୟା ଘଟିବା ଦରକାର, ତାହା ନିର୍ଣ୍ଣିତ ହେବ । ପ୍ରଥମ ସଫଳ ଚୁଲ୍ଲିର କୌଣସି ବିଶେଷ ଥଣ୍ଡା କରିବା ବ୍ୟବସ୍ଥା ନଥିଲା ଓ ଏହା କେବଳ 2kWରେ କାର୍ଯ୍ୟ କରିଥିଲା । କେତେକ ରିଆକ୍ଟର ହଜାର ହଜାର ମେଗାୱାଟ ପାୱାର ସ୍ତରରେ କାର୍ଯ୍ୟ କରିଥାଏ । 1MW ପାୱାର ସ୍ତରରେ U^{235} ଦିନକୁ ପ୍ରାୟ 1ଗ୍ରାମ୍ ହିସାବରେ ସରିଥାଏ । ନିଉକ୍ଲିୟର ରିଆକ୍ଟରରୁ ପାୱାରର ଉତ୍ସ ଭାବରେ ବ୍ୟବହାର କରିବା ଏପରି ଆକର୍ଷଣୀୟ ହେଲାଣି ଯେ, ବଡ଼ ବଡ଼ ନୂତନ ବିଦ୍ୟୁତ ପାୱାର ଷ୍ଟେସନମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରୁ ଅଧିକାଂଶ ନିଉକ୍ଲିୟର ଶକ୍ତି ବ୍ୟବହାର କରୁଛନ୍ତି ।

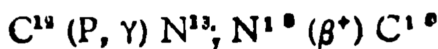
25·22 ସମେକନ :

ସଂମେକନ ଘଟଣା ବସ୍ତୁତ୍ୱଶକ୍ତିକୁ କିସ୍ତ୍ରିପ୍ରତର ଆକାରକୁ ପରିବର୍ତ୍ତିତ ହେବାର ଏକ ପ୍ରଧାନ ଉଲ୍ଲେଖଯୋଗ୍ୟ ଉଦାହରଣ । ଲଘୁ ମୌଳିକ ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କୁ ପାରମାଣିକ ଟେବୁଲର ମଧ୍ୟଭାଗକୁ ଥିବା ପଦାର୍ଥମାନଙ୍କରେ ପରିଣତ କରିବାରେ ବହୁ ପରିମାଣରେ ଶକ୍ତି ନିଷ୍କାସିତ ହୋଇଥାଏ । ବନ୍ଧନ ଶକ୍ତିର ପରୀକ୍ଷାଲବ୍ଧ ତାରତମ୍ୟରୁ (ଚିତ୍ର ୨୫·୩) ଦେଖି

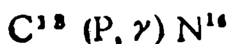
ପାଇବା ଯେ, $_{28}Ni^{60}$ (ଏକ ଉଦାହରଣ) ତିଆରି କରିବାରେ ମୁକ୍ତ ପ୍ରୋଟନ ଓ ନିଉଟ୍ରନ ସବୁ ଏକତ୍ରିତ ହେଲେ ପ୍ରତି ନିଉକ୍ଲିଅନ ପାଇଁ ୮.୪ MeV ଶକ୍ତି ନିଷ୍କାସିତ ହେବ। ସୁତ ରାଂ ଫିଶନରେ ନିଷ୍କାସିତ ହେଉଥିବା ଶକ୍ତି ପରିମାଣର 10ଗୁଣରୁ ଅଧିକ ଏ ଶକ୍ତି । ଏଥିରୁ ପ୍ରତି ନିଉକ୍ଲିଅନ ପାଇଁ ପ୍ରାୟ 7MeV, ଦୁଇଟି ପ୍ରୋଟନ ଓ ଦୁଇଟି ନିଉଟ୍ରନ ଏକତ୍ର ହୋଇ ଗୋଟିଏ α କଣିକା ତିଆରି କଲାବେଳେ ନିଷ୍କାସିତ ହୋଇଥାଏ । α କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ଏତେ ଦୃଢ଼ଭାବରେ ବାନ୍ଧିହୋଇ ରହୁଥିବାରୁ ଏଗୁଡ଼ିକ ଅଧିକ ପୁଣି ଏକାଠି ହେବାରେ ଅଳ୍ପ ଶକ୍ତି ନିଷ୍କାସିତ ହୋଇଥାଏ ।

ଜ୍ୟୋତିଷ୍କମାନଙ୍କର ଶକ୍ତିର ଉତ୍ସ :

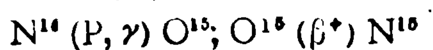
ସୂର୍ଯ୍ୟ ଓ ତାରକାମାନଙ୍କରେ ହାଇଡ୍ରୋଜେନ ହିଲିୟମ୍‌ରେ ପରିଣତ ହେବାରେ ପ୍ରଧାନତଃ ଶକ୍ତି ଉତ୍ପନ୍ନ ହେଉଛି ବୋଲି ସାଧାରଣ ଭାବରେ ବିଶ୍ୱାସ କରାଯାଉଛି । ବିଶ୍ୱରେ ମୋଟ ବସ୍ତୁ ପରିମାଣର ଶତକଡ଼ା 90 ଭାଗରୁ ଅଧିକ ହାଇଡ୍ରୋଜେନରେ ଗଠିତ, ତେଣୁ ଅପେକ୍ଷାକୃତ ବହୁ ପରିମାଣରେ ଶକ୍ତି ମିଳି ପାରୁଛି । ଏହି ପରିବର୍ତ୍ତନର କ୍ରିୟାବିଧି ସମ୍ବନ୍ଧରେ ଦୁଇଟି ଭିନ୍ନ ଭିନ୍ନ ସମ୍ଭାବନାକୁ ଅଧିକ ଗୁରୁତ୍ୱ ଦିଆଯାଏ; ଗୋଟିଏ ହେଲା ତଥାକଥିତ କାର୍ବନ – ନାଇଟ୍ରୋଜେନ ଚକ୍ର ଓ ଅନ୍ୟଟି ସିଧାସଳଖ ପ୍ରୋଟନ-ପ୍ରୋଟନ ଚେନ । ଏହି ଦୁଇ ଉପାୟ ସେମାନଙ୍କର କାର୍ଯ୍ୟକାରିତା ପାଇଁ ବହୁ ଅଧିକ ଉତ୍ତାପ ଦରକାର କରନ୍ତି । ତାପୀୟ ଆନ୍ଦୋଳନବେଳେ ଗୋଟିଏ କଣିକା ଅନ୍ୟ ଗୋଟି କଣିକାରେ ଆଘାତ ହେବାଦ୍ୱାରା ପ୍ରକ୍ରିୟାଗୁଡ଼ିକ କାର୍ଯ୍ୟକାରୀ ହୋଇଥାଏ । କଣିକାଗୁଡ଼ିକ ଧନାତ୍ମକ ହୋଇଥିବାରୁ ନିଉକ୍ଲିୟସର ବଳ ପରିସର ମଧ୍ୟରେ ପରସ୍ପରର ସଂସ୍ପର୍ଶ ହେବାର ସମ୍ଭାବନା ବହୁତ କମ୍ ଥାଏ, ଏପରିକି ଜ୍ୟୋତିଷ୍କମାନଙ୍କର ଆଭ୍ୟନ୍ତରରେ ଥିବା ଅତି ଉତ୍ତାପ ଓ ଘନତ୍ୱରେ ମଧ୍ୟ ଏହି ସମ୍ଭାବନା କମ୍; ପ୍ରକୃତରେ ମ୍ୟାକ୍ସୱେଲ ବିତରଣ ରେଖାର ଲମ୍ବିତ ଶେଷଅଂଶକୁ ମିଳୁଥିବା ଶକ୍ତି ପରସ୍ପର ମଧ୍ୟରେ ଏହି ପ୍ରକ୍ରିୟା ଘଟିଥାଏ । କାର୍ବନ-ନାଇଟ୍ରୋଜେନ ଚକ୍ରର ଆବଶ୍ୟକତା ହେଲା ଯେ, ଏହା ପୂର୍ବରୁ ଅନ୍ୟ କେଉଁ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ଗଢ଼ା ହୋଇଥିବା ସାମାନ୍ୟ କାର୍ବନର ଉପସ୍ଥିତି; କାର୍ବନ ଚକ୍ର ମଧ୍ୟରେ ରହେନାହିଁ, କେବଳ ଏକ ଉତ୍ପ୍ରେରକ ଭାବରେ କାର୍ଯ୍ୟ କରି ଚାରୋଟି ପ୍ରୋଟନଙ୍କୁ ଗୋଟିଏ α କଣିକାରେ ପରିଣତ କରେ । ଏଥିରେ ଘଟୁଥିବା ପ୍ରକ୍ରିୟାସବୁ ବେଥେ ନିମ୍ନମତେ କହିଛନ୍ତି;



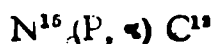
$C^{12} (P, \gamma) N^{13}; N^{13} (\beta^+) C^{13}$



$C^{13} (P, \gamma) N^{14}$

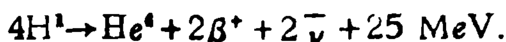


$N^{14} (P, \gamma) O^{15}; O^{15} (\beta^+) N^{15}$



$N^{15} (P, \alpha) C^{12}$

ମୋଟଫଳ ହେଲା,

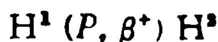


$$4H^1 \rightarrow He^4 + 2\beta^+ + 2\bar{\nu} + 25 \text{ MeV}.$$

ଏହି ଶକ୍ତି ମଧ୍ୟରୁ ଅଧିକାଂଶ ସେଠାରେ ଶୋଷିତ ହୋଇଯାଏ ଓ ତାପୀୟ ଶକ୍ତିରେ ପରିଣତ ହୋଇ ପ୍ରକ୍ରିୟାଟିକୁ ଚାଲୁ ରଖେ । ଉତ୍ତାପ ଏପରି ଏକ ମୂଲ୍ୟରେ ସ୍ଥିର ରହେ ଯେପରିକି ତାପୀୟ ବିକିରଣ ଦ୍ୱାରା ନଷ୍ଟ ହେଉଥିବା ଶକ୍ତି ପରିମାଣ ଉତ୍ପନ୍ନ ହୋଇ ଚାଲୁଥିବ ।

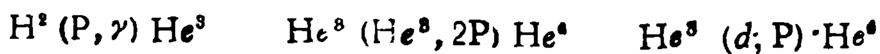
ଏହି (P, γ) ପ୍ରଣାଳୀରୁ ଯେକୌଣସିଟିର ହ୍ରାସ ଶକ୍ତି ପରିସରରେ ସମ୍ଭାବନା ବାଧା ପ୍ରବେଶ୍ୟଗୁଣକ [ସମୀ: (୬୫·୧୪)] ଉପରେ ନିର୍ଭର କରେ । ଏହି ଗୁଣକ ଗଠନ ହେଉଛି କୋଟିଏ ଗୁଣ ଏକ୍ସପୋନେନସିଆଲ୍ ଫଳନ । ସୂର୍ଯ୍ୟର ଅଭ୍ୟନ୍ତରର ହିସାବ କରାଯାଇଥିବା ଉତ୍ତାପରେ ପ୍ରୋଟନର ସର୍ବାଧିକ ସମ୍ଭାବ୍ୟ ଶକ୍ତି kT ହେଲା ପ୍ରାୟ 1KeV; କିନ୍ତୁ ପ୍ରକୃତରେ ଦେଖି ଏପରି ଜଣାଯେ, ଏହି ମୂଲ୍ୟର 10ଗୁଣ ତାପୀୟ ଉତ୍ତେଜିତ ହୋଇଥିବା କେତେକ ପ୍ରୋଟନ ଏଠାରୁ ପ୍ରଧାନ ଅବଦାନ ମିଳିଥାଏ । ପ୍ରକ୍ରିୟାର ହାର ହିସାବର ପ୍ରାୟ ବିଂଶତି ଶକ୍ତିରେ ବୃଦ୍ଧି ପାଇଥାଏ ।

ପ୍ରୋଟନମାନଙ୍କର ସିଧାସଳଖ ସଂମ୍ମିଳନ ନିମ୍ନଲିଖିତ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ହୋଇପାରେ,



$$H^1 (P, \beta^+) H^2$$

ଏହାପରର ଅନ୍ୟ ପ୍ରକ୍ରିୟା ଏଗୁଡିକ,



$H^2 (P, \gamma) He^3 \quad He^3 (He^3, 2P) He^4 \quad He^3 (d, P) He^4$

କାର୍ବନ ଓ ନାଇଟ୍ରୋଜେନକୁ ନେଇ ହୋଇଥିବା ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ କୁଲମ୍ବ ପ୍ରତିରୋଧ ଯେପରି ପ୍ରାଧାନ୍ୟ ଲାଭ କରେ, ଏକ୍ଷେତ୍ରରେ ସେପରି କରେନାହିଁ । ଏକ୍ଷେତ୍ରରେ ଉତ୍ତାପ ନିର୍ଭରଶୀଳତା ମଧ୍ୟ କମ୍ । ସୂର୍ଯ୍ୟରେ (P, P) ପ୍ରକ୍ରିୟା ଅଧିକାଂଶ ଶକ୍ତି ଦେଉଥିବାର ମନେ ହୁଏ; ଅଧିକ ଉତ୍ତପ୍ତ ତାରକାମାନଙ୍କରେ C – N ପ୍ରକ୍ରିୟା ଅଧିକ ବଳଶାଳୀ ।

—ପ୍ରଶ୍ନାବଳୀ—

୧ । ନିମ୍ନଲିଖିତ ପ୍ରକ୍ରିୟାମାନଙ୍କରେ Q ମୂଲ୍ୟକୁ ହିସାବ କର । (ବସ୍ତୁତ୍ୱ ପାଇଁ ଦେଖ, ଟେବୁଲ ୧୦·୨) ।

(କ) ${}_7N^{14}$ (α, d) ${}_8O^{16}$; (ଖ) ${}_4Be^9$ (d, n) ${}_5B^{10}$, (ଗ) ${}_4Be^9$ (α, n) ${}_6C^{12}$; (ଘ) ${}_3Li^6$ (d, α) ${}_2He^4$; (ଙ) ${}_9F^{19}$ (P, α) ${}_8O^{16}$.

୨ । ସମେକନ ଗବେଷଣାରେ ଗୋଟିଏ ପ୍ରଧାନ ପ୍ରକ୍ରିୟା ହେଲା, H^2 (d, P) H^3 ଏହି ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ Q ହିସାବ କର, ଯଦି ଡ୍ୟୁଟେରନର ଶକ୍ତିକୁ ହେୟ କରାଯାଏ, ତେବେ ପ୍ରୋଟନ ଓ ଟ୍ରିଟନର ଶକ୍ତି ବାହାର କର ।

୩ । ଗୋଟିଏ 30 GeV ପ୍ରୋଟନର ଓ ଗୋଟିଏ 20 GeV ଇଲେକ୍ଟ୍ରନର ଡି ବ୍ରଗ୍ଲି ତରଙ୍ଗଦୈର୍ଘ୍ୟ ହିସାବ କର । ନଉକ୍ଲିୟସମାନଙ୍କ ମଧ୍ୟରେ ନଉକ୍ଲିୟନମାନଙ୍କର ଅନ୍ତର ସହିତ ଏହି ଦୈର୍ଘ୍ୟର ତୁଳନା କର ।

୪ । ଗୋଟିଏ ନ୍ୟୁଟ୍ରନର ବସ୍ତୁତ୍ୱ m ଓ ପ୍ରାଥମିକ ଗତିବେଗ v । ଏହା ସ୍ଥିର ଥିବା ଗୋଟିଏ ବସ୍ତୁତ୍ୱ m ବିଶିଷ୍ଟ ନଉକ୍ଲିୟସ ସହିତ ମୁହାଁମୁହିଁ ଧକ୍କା ହେଲା । ଯଦି ଧକ୍କାଟି ସ୍ଥିତିସ୍ଥାପକ ହୁଏ, ନଉକ୍ଲିୟସଟିକୁ ସ୍ଥାନାନ୍ତରିତ ହୋଇଥିବା ଶକ୍ତି $K=2Mm^2v^2/(m+m)^2$ ହେବାକୁ ଦେଖାଅ । ନ୍ୟୁଟନ ଶକ୍ତିର କେଉଁ ଭଗ୍ନାଂଶ ସ୍ଥାନାନ୍ତରିତ ହେଲା (କ) ବସ୍ତୁତ୍ୱ m ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନକୁ (ଖ) ବସ୍ତୁତ୍ୱ $4m$ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ α କଣିକାକୁ ଓ (ଗ ବସ୍ତୁତ୍ୱ $238m$ ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ୟୁରାନିୟମ ପରମାଣୁକୁ ।

୫ । (କ) $1{\cdot}2m$ ଡି ବ୍ୟାସ ଓ $1{\cdot}5wb/m^2$ ଚୁମ୍ବକ କ୍ଷେତ୍ର ବିଶିଷ୍ଟ ଗୋଟିଏ ସାଇକ୍ଲୋଟ୍ରୋନକୁ ସର୍ବାଧିକ କେତେ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ପ୍ରୋଟନ ମିଳିପାରିବ ? ସାଇକ୍ଲୋଟ୍ରୋନଟି କେଉଁ ଆବୃତ୍ତିରେ କାର୍ଯ୍ୟ କରିବ ? ଯଦି ପ୍ରତ୍ୟେକ ଥର ଡିରେ ଗଲାବେଳେ 50KeV ଶକ୍ତି ବୃଦ୍ଧି ଘଟେ, ପ୍ରୋଟନଗୁଡ଼ିକ କେତେଥର ଘୂରିବେ ?

(ଖ) ସାଇକ୍ଲୋଟ୍ରୋନଟି ଏ କଣିକାମାନଙ୍କୁ ସର୍ବାଧିକ କେତେ ଶକ୍ତି ଦେଇ ପାରିବ ? ଏହି ଶକ୍ତି ପାଇବାପାଇଁ ସାଇକ୍ଲୋଟ୍ରୋନଟି କେଉଁ ଆବୃତ୍ତିରେ କାର୍ଯ୍ୟ କରିବା ଦରକାର ? ପ୍ରୋଟନପାଇଁ ବ୍ୟବହୃତ ସର୍ବାଧିକ ଆବୃତ୍ତି ବ୍ୟବହାର କଲେ ଏ କଣିକାମାନଙ୍କ ପାଇଁ କେତେ ଶକ୍ତି ମିଳିପାରିବ ?

ଉତ୍ତର—(କ) 39MeV, 22·9 MHZ; 390

୬ । ଯୋଲିଏଟ-କ୍ୟୁରି ଦମ୍ପତ୍ତି ଦେଖିଥିବା 4·5MeV ପ୍ରୋଟନ (ଅନୁ: ୬-୭) ଉତ ପ୍ରକୃତରେ γ-ରଶ୍ମିରୁ ଅବସରରେ ମିଳିଥାଏ, ଦେଖାଅ ଯେ γ ରଶ୍ମିର ଶକ୍ତି ପ୍ରାୟ 50MeV ହେବ ।

୭ । ଗୋଟିଏ B^{10} ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସରେ ଗୋଟିଏ ମନ୍ଥର ନ୍ୟୁଟ୍ରନ ବନ୍ଦୀ ହେବାଦ୍ୱାରା ଗଠିତ ଉତ୍ତେଜିତ B^{11} ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସଟିରୁ ନିର୍ଗତ γ ରଶ୍ମିର ଶକ୍ତି ହିସାବ କର ।

୮ । ହିରୋସିମାରେ ପରମାଣୁ ବୋମା ବିସ୍ଫୋରଣବେଳେ ପ୍ରାୟ $7·6 \times 10^{13}$J ପରିମାଣର ଶକ୍ତି ନିଷ୍କାସିତ ହୋଇଥିଲା ବୋଲି ହିସାବ କରାଯାଇଅଛି । ଏହା 20,000 ଟନ TNT ସଙ୍ଗେ ସମାନ । ଯଦି ପ୍ରତି ବିଭଞ୍ଜନରେ ହାରାହାରି 200MeV ଶକ୍ତି ନିର୍ଗତ ହୋଇଥିଲା ଓ ନ୍ୟୁଟ୍ରନ U^{235} ରେ ବନ୍ଦୀ ହେବା ଦ୍ୱାରା ହିଁ ସମସ୍ତ ବିଭଞ୍ଜନ ଘଟିଥିଲା, U^{235}ର କେତୋଟି ପରମାଣୁ ବିଭଞ୍ଜିତ ହୋଇଥିଲେ ଓ U^{235}ର କେତେ ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଏଥିରେ ଲାଗିଥିଲା ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର । ଯଦି ବୋମାରେ ଥିବା U^{235} ପରିମାଣର 20% ବିଭଞ୍ଜିତ ହୋଇଥାଏ; ତେବେ ବୋମାଟି ପାଇଁ କେତେ U^{235} ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଆବଶ୍ୟକ ହୋଇଥିଲା ?

୯ । ଯଦି ଗୋଟିଏ କାଡ୍‌ମିୟମ ପାତ (0·5mm ମୋଟା ବିଶିଷ୍ଟ) ମଧ୍ୟ ଦେଇ ଗୋଟିଏ ତାପୀୟ ନ୍ୟୁଟ୍ରନ ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ଗତି କରେ, ଏହାର କେତେ ଅଂଶ ଶୋଷିତ ହେବ ? Cd^{113}ର ବନ୍ଦୀ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ ହେଲା 20,000 ବାର୍ଣ୍ଣ ଓ ପ୍ରକୃତରେ ଏହା କାଡମିୟମରେ ଶତକଡ଼ା 12·26 ପରିମାଣରେ ମିଳିଥାଏ । ଏହି ଆଇସୋଟୋପ ଛଡ଼ା Cdର ଅନ୍ୟ ସମସ୍ତ ଆଇସୋଟୋପର ଶୋଷଣ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ ହେଉଛି 1 Cdର ଘନତ୍ୱ 8650 Kg/m^3 ।

୧୦ । U^{235} ଗୋଟିଏ ମନ୍ଥର ନ୍ୟୁଟ୍ରନ ଗ୍ରହଣ କଲେ ବିଖଣ୍ଡିତ ହୁଏ । ଯଦି ବିଖଣ୍ଡନ ଦ୍ୱାରା Rb^{93} ଓ Cs^{140} ଉତ୍ପନ୍ନ ହେଉଥାଏ, ତେବେ କେତୋଟି ନ୍ୟୁଟ୍ରନ ଉତ୍ସର୍ଜିତ ହେଉଛି ? ଯଦି U^{235}, Cs^{140} ଓ Rb^{93}ର ବସ୍ତୁତ୍ୱ ଯଥାକ୍ରମେ 234·043915; 139·917110 ଓ 91·919140U ହୁଏ, ତେବେ ଏହି ନିର୍ଦ୍ଦିଷ୍ଟ ବିଖଣ୍ଡନରେ କେତେ ଶକ୍ତି ନିଷ୍କାସିତ ହେବ ?

୧୧ । ମଧ୍ୟମ ଶକ୍ତି ବିଶିଷ୍ଟ ନ୍ୟୁଟ୍ରନ ଓ ପ୍ରୋଟନ ପାଇଁ ପ୍ରକ୍ରିୟା (ବା ଶୋଷଣ) ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦର ଏକ ସ୍ଥୂଳ ହିସାବ, କୌଣସି ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟନର ବସ୍ତୁତ୍ୱ କେନ୍ଦ୍ର ଗୋଟିଏ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ଧାରରେ ପହଞ୍ଚିଲେ ଗ୍ରହଣୀ ହେବ ବୋଲି ଅନୁମାନ କରି, କରାଯାଇ ହେବ । ଦେଖାଅ ଯେ R ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ହେଲେ ଗୋଟିଏ ନ୍ୟୁଟ୍ରନ ପାଇଁ ଏହି ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ ହେବ ପ୍ରାୟ πR^2; ପ୍ରୋଟନର ଗତିଜଶକ୍ତି $K > Ze^2/4\pi\epsilon_0 R$ ହେଲେ ଏ ପ୍ରସ୍ଥଚ୍ଛେଦ ହେବ $\pi R^2 (1 - Ze^2/4\pi\epsilon_0 Rk)$ ମାତ୍ର K ର ସ୍ୱଳ୍ପ ମୂଲ୍ୟପାଇଁ ଏହା ଶୂନ୍ୟ ହେବ । ସୂଚନା – କୌଣିକ ସଂବେଗର ସଂରକ୍ଷଣ ବ୍ୟବହାର କର ।

୧୨ । $_{14}Sc^{27} \rightarrow {}_{13}Al^{27} + e^+ + \nu$ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ ଯଦି ପଜିଟ୍ରନର ସର୍ବୋଚ୍ଚ ଗତିଜ ଶକ୍ତି 3·48 MeV ହୁଏ, $_{14}Si^{27}$ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ ନିର୍ଣ୍ଣୟ କର । ସମୀକରଣ (୨୫·୫)ରେ ଏହା କେଉଁ ମୂଲ୍ୟ ହେବ ? (ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ଘନ ମଧ୍ୟରେ ଚାର୍ଜ ସମଭାବରେ ବଣ୍ଟନ ହେଉଛି ବୋଲି ଅନୁମାନ କର ।)

୧୩ । (କ) $Li^7 (P, \alpha) He^4$ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ Q ହିସାବ କର ।

(ଖ) Li ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସର ବ୍ୟାସାର୍ଦ୍ଧ $1·4 \times 10^{-15} A^{1/3} m$. ହେଲେ, ଗୋଟିଏ ପ୍ରୋଟନ ଲିଥିୟମ ନ୍ୟୁକ୍ଲିୟସରେ ପହଞ୍ଚିବାରେ ସମ୍ମୁଖୀନ ହେବା କୁଲମ୍ବ ଅବରୋଧର ଉଚ୍ଚତା ହିସାବ କର । କକ୍‌ଫ୍ଟ ଓ ଓ୍ୱାଲ୍‌ଟନ 125-KeV ପ୍ରୋଟନ ସାହାଯ୍ୟରେ ଏହି ପ୍ରକ୍ରିୟା ଘଟାଇ ପାରିଥିଲେ; ତାହା କେମିତି ସମ୍ଭବ ହେଲା ବୁଝାଇଦିଅ ।

(ଗ) ଗୋଟିଏ ପ୍ରକ୍ରିୟା ଯେଉଁ 1·2MeV ପ୍ରୋଟନଦ୍ୱାରା ପାତଳ Li ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁକୁ ଆଘାତ କରି ଉତ୍ପନ୍ନ କରାଯାଇଥାଏ, ଏଥିରୁ ସମ୍ମୁଖ ଦିଗକୁ ନିର୍ଗତ ଏକ α-କଣିକାର ସର୍ବାଧିକ ଗତିଜ ଶକ୍ତି ଲାବରେଟରୀ ଅକ୍ଷ ମଣ୍ଡଳରେ କେତେ ହେବ ?

୧୪ । $He^4(\alpha, P) Li^7$ ପ୍ରକ୍ରିୟାରେ Q ମୂଲ୍ୟ ସ୍ଥିର କର । ଯଦି ଗୋଟିଏ ସ୍ଥିରଥିବା ହିଲିୟମ ଲକ୍ଷ୍ୟବସ୍ତୁରେ ଗୋଟିଏ α କଣିକା ରଶ୍ମିଗୁଚ୍ଛ ଆପତିତ ହୁଏ, ଏହି ପ୍ରକ୍ରିୟା ସମ୍ଭବ କରିବାପାଇଁ ଆପତିତ α କଣିକାମାନଙ୍କର ଆବଶ୍ୟକୀୟ ସର୍ବନିମ୍ନ ଗତିଜ ଶକ୍ତି କେତେ ?

